N° D'ORDRE: 58
SÉRIE E

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

J. FRANC DE FERRIÈRE

1re **THÈSE.** — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA GÉOLOGIE ET DE LA PÉDOLOGIE DES FORMATIONS QUATERNAIRES DE LA PLAINE D'ALSACE

2e **THÈSE.** — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Soutenues le 12 Mars 1937 devant la Commission d'examen

MM. G. DUBOIS . . . . . Président
H. CHERMEZON . . . . } Examinateurs
G. REMPP . . . . . }
R. BONNET. . . . . }

IMPRIMERIE ALSACIENNE
STRASBOURG
1937

GÉOLOGIE ET PÉDOLOGIE

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES FORMATIONS QUATERNAIRES DE LA PLAINE D'ALSACE

N° D'ORDRE: 58
SÉRIE E

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

J. FRANC DE FERRIÈRE

1re **THÈSE.** — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA GÉOLOGIE ET DE LA PÉDOLOGIE DES FORMATIONS QUATERNAIRES DE LA PLAINE D'ALSACE

2e **THÈSE.** — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Soutenues le 12 Mars 1937 devant la Commission d'examen

MM. G. DUBOIS . . . . . Président
H. CHERMEZON . . . .
G. REMPP . . . . . Examinateurs
R. BONNET. . . . . .

IMPRIMERIE ALSACIENNE
STRASBOURG
1937

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

FACULTÉ DES SCIENCES

Doyen ..... M. A. DANJON, Professeur d'Astronomie

Doyen honoraire ..... M. E. BATAILLON

Professeurs honoraires :

MM. E. CHATTON, E. ESCLANGON, M. FRÉCHET, H. GAULT, M. GIGNOUX, L. HACKSPILL, E. de MARGERIE, G. RIBAUD E. TOPSENT, G. VALIRON, H. VILLAT

Professeurs :

MM.	P. WEISS	Physique générale
	E. ROTHÉ	Physique du Globe
	H. OLLIVIER	Physique générale
	C. HOUARD	Botanique
	E. TERROINE	Physiologie générale
	J. de LAPPARENT	Minéralogie et Pétrographie
	R. THIRY	Mécanique rationnelle
	G. CERF	Analyse supérieure
	G. DUBOIS	Géologie et Paléontologie
	P. FLAMANT	Calcul différentiel et intégral
	E. CORNEC	Chimie générale
	P. de BEAUCHAMP	Zoologie et Anatomie comparée
	L. BOUNOURE	Biologie générale
	R. ROMANN	Chimie minérale et Chimie physique
	G. FOEX	Physique expérimentale
	A. KIRRMANN	Chimie organique
	H. CARTAN	Mathématiques générales
	H. WEISS	Physico-chimie des hydrocarbures
	H. CHERMEZON	Botanique
	G. REMPP	Physique du Globe
	J. LACOSTE	Physique du Globe
	G. HUGEL	Chimie du Pétrole
	P. A. REMY	Zoologie
	R. HOVASSE	Biologie générale
	R. BONNET	Physique et Chimie biologiques

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Maîtres de conférences :

MM.	Ch. STÆHLING	Chimie appliquée
	J. MARESQUELLE	Botanique
	P. SOLEILLET	Physique mathématique
	A. CHRÉTIEN	Chimie minérale
	A. ROUSSEL	Mathématiques générales
	R. HOCART	Minéralogie
	H. FORESTIER	Chimie
	L. NÉEL	Physique générale
	A. WEIL	Mathématiques

Secrétaire :

M. G. CUVIER

A MONSIEUR LUCIEN CAYEUX,

MEMBRE DE L'INSTITUT,

mon maître,

qui m'a révélé la Géologie ;

A MONSIEUR ALBERT BRUNO,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES STATIONS AGRONOMIQUES,

mon chef,

qui m'a initié à la Pédologie,

HOMMAGE DE RESPECTUEUSE RECONNAISSANCE.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548005_0059

AVANT-PROPOS

Lorsque j'étais encore sur les bancs de l'Institut National Agronomique, notre éminent Maître M. L. CAYEUX, Membre de l'Institut, nous parlant des limons du Nord de la France, qui jouent un rôle si important dans l'agriculture de notre pays, attirait notre attention sur l'extrême diversité de ces formations et sur les problèmes nombreux qui restaient posés à leur sujet. Il est donc le premier à avoir dirigé ma pensée vers les questions qui font l'objet du présent travail. Mais surtout c'est à son passionnant enseignement que je dois pour une large part l'amour des choses géologiques qui n'a cessé de m'entraîner depuis lors, et je tiens tout au début de ce mémoire, à lui en exprimer ma très respectueuse et fidèle reconnaissance.

Ma pensée cherche avec émotion aussi notre répétiteur de géologie à l'Institut National Agronomique, M. COUVREUR, qui, d'une bonne humeur jamais lasse, nous fit parcourir les routes de l'Ile-de-France, du Boulonnais, de la Normandie et de la Bretagne, nous initiant sur le terrain aux difficultés et aux joies de la géologie pratique. Hélas ! M. Couvreur n'est plus....

Mes remerciements vont ensuite à tous ceux qui m'ont accueilli et aidé après ma sortie de l'Ecole :

— Le Professeur Em. FALLOT, sous l'enseignement duquel j'ai préparé, à la Faculté des Sciences de Bordeaux, le certificat de licence de géologie, et qui, lui aussi, nous a quittés depuis lors,

— M. Fr. DIÉNERT, Chef du Service de Surveillance des Eaux d'alimentation de la Ville de Paris, sous les ordres duquel j'ai passé de fructueuses années de travail et qui m'a reçu dans le cadre des ingénieurs de son service,

— MM. les Professeurs Ch. JACOB, Membre de l'Institut, et A. MICHEL-LÉVY, qui m'ont fort aimablement ouvert les portes du Laboratoire de Géologie de la Sorbonne,

— Mme JÉRÉMINE qui m'a initié à la micrographie des roches.

Ici je tiens à faire une place toute spéciale dans mes remerciements à M. A. BRUNO, Inspecteur Général des Laboratoires et Stations Agronomiques, Directeur du Service Scientifique et Agricole de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace, qui, en me demandant en Janvier 1929 de prendre en main le laboratoire de son Service, m'a donné d'incomparables possibilités de travail. Et je ne parle

pas seulement des possibilités matérielles que m'apportait le laboratoire d'une puissante société industrielle, je veux aussi exprimer à M. A. Bruno ma reconnaissance pour m'avoir mis entre les mains cet instrument, si précieux, et si nouveau pour moi à cette époque, qu'était la *méthode pédologique*, dont il fut l'un des premiers initiateurs en France.

C'est encore grâce à M. Bruno qu'il me fut donné de faire, dès 1929 la connaissance de M. le Professeur V. Agafonoff, que je pilotais durant quelques jours sur le terrain, autour de Strasbourg d'abord (à Achenheim en particulier), puis dans le Haut-Rhin ; après cette visite, dont je conserve un reconnaissant souvenir, la pédologie cesse pour moi d'être une science abstraite, elle s'anime et elle anime d'une vie intense les paysages d'Alsace, qui peu à peu me deviennent familiers.

J'entrevois dès ce moment la possibilité de grouper en un tout homogène les nombreuses observations pédologiques et géologiques que j'avais pu faire en Alsace.

M. le Professeur G. Dubois, Président du Comité d'Administration du Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine et depuis longtemps spécialisé dans l'étude des terrains quaternaires, voulut bien m'accueillir en 1933 à Strasbourg et y entendre un premier exposé de mes conceptions sur la géologie du Quaternaire d'Alsace éclairée par la méthode pédologique. Ce n'est pas sans une certaine crainte, je l'avoue, que je fis cet exposé et mes craintes étaient bien justifiées, car mes idées furent soumises à la plus rude des critiques. Mais en même temps, et plus encore par la suite, je trouvai auprès de M. G. Dubois, tant en son laboratoire que sur le terrain, de tels conseils, directives et encouragements, qu'il m'a été possible de mettre sur pied le travail qui, aujourd'hui, voit le jour. Je lui en exprime ici ma plus vive et respectueuse gratitude.

Je n'oublie pas non plus tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé dans mes travaux ou ma tâche journalière :

— M. Em. de Martonne, professeur de Géographie à la Sorbonne, qui m'a encouragé par l'intérêt qu'il a bien voulu porter à mes travaux.

— M. P. Wernert avec lequel j'ai fait quelques si passionnantes excursions autour de Strasbourg et de Mulhouse et qui m'a si généreusement aidé de sa science et ouvert ses précieuses collections préhistoriques et paléontologiques.

— Mlle Wernert, dévouée collaboratrice de son frère et experte conservatrice de ses collections.

— M. L. G. Werner, Conservateur du Musée Historique de Mulhouse dont j'ai si souvent mis à contribution la parfaite érudition et les profondes connaissances archéologiques.

— M. G. Rempp, Professeur à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, à l'obligeance duquel je dois des vues nombreuses et originales sur le climat de l'Alsace.

— M. P. R. Zuber, chercheur infatigable et ami dévoué.

— M. J. Ponsard, qui a si cordialement mis à ma disposition sa vieille expérience des choses de l'imprimerie, pour l'édition de cet ouvrage.

— MM. L. Rigotard, Marchal, Troubetzkoi, Richard et Moreau, mes collègues, qui m'ont fréquemment accompagné dans mes courses sur le terrain.

— M. E. Natier, mon collaborateur au laboratoire de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace, dont l'aide m'a été si précieuse pour me décharger de tant de travaux matériels.

— Qu'il me soit permis d'exprimer ma reconnaissance à M. Le Cornec, Directeur Général de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace, puisque c'est grâce à son généreux appui, moral et financier, qu'il m'est aujourd'hui possible de publier ce mémoire.

Je n'oublie pas enfin avec quelle amabilité j'ai été reçu dans les nombreuses briqueteries et carrières que tous leurs propriétaires ont bien voulu m'autoriser à visiter et à étudier. Parmi bien d'autres, que je m'excuse de ne pas nommer, je citerai : M. J. Schott, à Lingolsheim, M. Ch. Ihl, à Hœnheim, M. de Coninck et Mme Th. Lienhard, à Souffelweyersheim, M. M. Hurst et M. Sundhausen, à Achenheim, M. Tranzer, à Sierentz.

INTRODUCTION

La plaine d'Alsace avec sa couverture épaisse de limons, étudiée déjà par de nombreux géologues et archéologues, m'a paru se prêter particulièrement à une étude détaillée de la formation des sols anciens ou récents.

On sait que la formation de ces sols ne saurait être antérieure aux glaciations quaternaires, puisque l'origine des limons lœssiques rhénans est en relation avec les phénomènes glaciaires.

D'autre part, les dépôts successifs et les remaniements postérieurs des limons lœssiques ont enterré et fossilisé, donc conservé de nombreux sols anciens.

D'abondantes exploitations fournissent, aux alentours de Strasbourg et de Mulhouse, des coupes fraîches et constamment renouvelées qui facilitent les observations.

Dans les prochains chapitres, j'étudierai donc les formations quaternaires de la plaine d'Alsace en me plaçant plus spécialement sur le plan pédologique, c'est-à-dire que je m'efforcerai de mettre en lumière l'influence des climats successifs sur la genèse et l'évolution ultérieure des sédiments quaternaires.

Je bornerai mon travail à l'étude des dépôts quaternaires et des sols des Moyenne-Terrasse, Basse-Terrasse et alluvions modernes, d'abord dans la région de Strasbourg, puis dans celle de Mulhouse ; je tenterai ensuite de paralléliser le Quaternaire d'Alsace avec celui de la région parisienne.

En un premier chapitre, il m'a paru utile de rappeler les traits principaux de la *Pédologie*, discipline encore assez neuve et assez peu familière, peut-être, à quelques lecteurs. J'y précise d'ailleurs quelques notions nouvelles ou encore assez vagues, qu'il m'a été donné de mettre au point, au cours même de mes recherches personnelles.

Dans le chapitre II, j'expose ensuite très brièvement les caractères climatiques actuels de l'Alsace, afin de pouvoir les comparer de manière fructueuse à ceux des climats quaternaires qui sont à l'origine des dépôts lœssiques et des sols qu'ils supportent.

Les chapitres III à V comportent l'étude détaillée des formations quaternaires des Terrasses des environs de Strasbourg, les mieux décrites déjà au point de vue géologique et archéologique, les plus complexes également.

Les chapitres VI et VII sont destinés à l'étude des formations de même âge général de Haute-Alsace, près de Mulhouse.

Je compare, dans le chapitre VIII, les résultats obtenus en Alsace avec ceux qui ressortent de l'étude des limons parisiens.

Dans le chapitre IX, j'expose les conclusions générales qui me paraissent pouvoir être dégagées de mes recherches.

Chapitre Premier

NOTIONS PÉDOLOGIQUES

L'action des facteurs naturels, agissant à la surface des continents émergés, provoque une modification lente de la portion superficielle des roches avec apparition à leur surface d'une couche fortement modifiée qui constitue le *sol* et qui cache presque toujours la *roche-mère* non différenciée ou sous-sol géologique.

Quels sont les facteurs prédominants dans la genèse des sols?

Nous ne citerons que pour mémoire la pesanteur, facteur primordial de toute évolution à la surface du globe ; la pesanteur en effet, si elle domine les phénomènes de la vie des sols, comme ceux de toute la vie animale et végétale, voit son action considérablement modifiée, aidée ou accélérée par divers agents naturels : l'eau, la glace, l'air, les êtres vivants ; ces agents par leur extrême mobilité et soumis eux aussi à la pesanteur, concourrent pour une large part à assurer la désagrégation de la roche d'abord, puis le déplacement des particules dont l'accumulation ordonnée suivant des lois bien définies constituera *le sol* tel qu'on le conçoit aujourd'hui. Notons qu'un autre facteur, la capillarité, agit fréquemment en sens inverse de la pesanteur pour assurer le mouvement de l'eau de bas en haut entre les plus fines particules du sol.

C'est donc l'eau et l'air, mis en mouvement sous l'influence des variations de la température, qui se trouvent être les principaux facteurs de l'évolution des sols ; l'eau et l'air étant les *agents climatiques* par excellence, on peut dire que le facteur le plus important de la genèse des sols est par conséquent le *climat*.

L'action du climat sur les sols a été remarquablement mise en relief à la fin du siècle dernier par l'école pédologique russe dont le fondateur a été Dokoutchaïef. Ses élèves et continuateurs Sibirtzev, Ramann, Glinka ont largement contribué au développement de cette science nouvelle : *la pédologie*. Nous devons l'introduction en France de cette discipline au Professeur V. Agafonoff, qui a fait connaître dans notre pays les travaux des maîtres russes et commencé à appliquer les méthodes pédologiques aux sols de France et des Colonies françaises.

Le développement en Russie de la science pédologique, basée sur la climatologie, n'est pas un fait dû au hasard. La plaine russe, en effet, s'étend de l'Océan Glacial Arctique, où règne un climat polaire, jusqu'au Turkestan, pays de climat déjà chaud où l'on cultive le coton. Entre ces deux extrêmes existe une gamme complète de climats inter-

médiaires, présentant chacun une végétation typique. L'absence presque absolue de relief (des coteaux de 400 mètres d'altitude à peine séparent les 3 versants de la Mer Blanche, de la Baltique et de la Mer Noire) évite les troubles climatiques locaux que provoqueraient des différences d'altitudes notables ; elle met également à l'abri des érosions qui, partout ailleurs, tendent à détruire l'édifice naturel des sols. Ceux-ci peuvent ici se former lentement à la surface de la roche-mère, sans destruction, ni déplacements latéraux. La plaine russe forme donc un vaste champ d'expérience naturel, sur lequel des siècles d'action climatique ont permis l'apparition lente d'une gamme complète de sols formant des zones étendues grossièrement suivant les parallèles. Les sols *zonaux* de la Russie sont donc, d'après les pédologues russes, sous la dépendance étroite de la *latitude*, qui, elle, régit *le climat*.

Passons rapidement en revue les zones définies par les premiers pédologues russes.

Zone arctique. — C'est la zone d'où toute végétation est absente. Le sol y subit la seule action mécanique de la neige, de la glace et éventuellement des gels et dégels successifs. C'est la région où règne la *solifluxion*, avec glissements fréquents des sols à la surface d'un sous-sol gelé, brassage des matériaux, classement mécanique faisant parfois apparaître des alignements de pierres, ou une structure rubanée caractéristique dans les coupes et profils.

Zone des toundras. — C'est la zone où le dégel est d'assez longue durée pour qu'apparaisse en surface une végétation où dominent les mousses et les sphaignes. L'excessive humidité de ces sols, dans une région où le soleil reste toujours bas sur l'horizon, et où bien souvent le sous-sol ne dégèle jamais, en fait une région de tourbières hautes, où sur les monticules de sphaignes se développe une maigre végétation herbacée ou arbustive (saule nain). Des sols tourbeux très acides, formés par l'accumulation sur place des débris végétaux dont la température toujours basse ne permet pas la décomposition, caractérisent cette zone d'excessive humidité.

Zone podzolique. — Au Sud de la zone des toundras, le dégel du sol en profondeur permet l'apparition d'une végétation forestière puissante, où dominent d'abord les conifères, puis plus au sud les arbres feuillus.

Cette zone, encore humide et assez froide, est caractérisée au point de vue profil des sols par un lessivage intense dans le sens vertical. Au-dessous de l'horizon superficiel riche en humus acide apparaît un horizon de lessivage maximum, dit *horizon éluvial*, désigné par les pédologues par la lettre A. Tous les éléments lentement solubles sous l'action de l'eau et de l'acidité carbonique et humique : éléments alcalins et alcalino-terreux, sesquioxydes de fer et d'alumine, tendent à disparaître de cet horizon, qui, au bout d'un temps assez long, ne se trouve plus constitué que par un véritable squelette blanchi, formé pour la plus grande part de silice. Cet horizon perd en même temps

toute cohésion et présente alors l'aspect et le toucher de la cendre, d'où son nom russe de *podzol*, qui signifie *cendre*. Une partie des éléments dissous dans l'*horizon éluvial A* viennent se concréter au-dessous et former un *horizon illuvial*, désigné par la lettre B et qui surmonte la roche-mère C. L'horizon illuvial est formé en particulier par des éléments argileux et ferrugineux. Suivant l'état de la nappe d'eau souterraine, plus ou moins profonde, les sels de fer seront au maximum et auront alors l'aspect typique des hydroxydes de fer plus ou moins rouges ou noirs, ou au minimum et coloreront alors en vert cet horizon argileux, auquel les pédologues russes réservent le nom de « Gley». Le Gley n'apparaît qu'en sol franchement marécageux où il est fréquemment surmonté d'un podzol blanchi absolument typique.

Zone du tchernoziom. — Au Sud de la zone podzolique apparaît une zone plus sèche, où la forêt cède peu à peu la place à la steppe herbeuse. Nous n'observons plus ici le lessivage énergique de la couche superficielle du sol qui caractérisait les sols podzoliques. L'évaporation, intense durant une partie de l'année, ramène vers la surface les sels alcalins et alcalino-terreux que les eaux de pluie tendraient à entraîner vers la profondeur. Les débris de la végétation herbacée se décomposant sur place donnent au sol une teinte noire sur toute son épaisseur. L'humus imprégné de matières basiques par suite de l'absence de lessivage vertical présente une réaction alcaline : c'est l'humus doux ou « mull» des pédologues, opposé à l'humus acide ou « mor» de la zone des toundras et de la zone podzolique. L'existence de calcite de néo-formation se traduit fréquemment dans ces sols noirs par l'apparition de petits filaments blanchâtres connus sous le nom de *pseudo-mycélium*.

Dans un tchernoziom nous aurons donc simplement un horizon A, fortement teinté par l'humus, surmontant la roche-mère C. L'horizon illuvial B ne sera plus représenté que par le lacis de pseudomycélium, accompagné parfois de concrétions calcaires de taille variable et placées soit dans l'horizon noir A, soit au contact de la roche-mère C ; ces concrétions présentent alors l'aspect de petites poupées plus ou moins irrégulières ou arrondies, occupant parfois l'emplacement d'anciennes racines.

Zone des steppes sèches. — Au Sud de la zone des tchernozioms noirs apparaissent des sols beaucoup moins riches en humus, la végétation se faisant de plus en plus rare et de plus en plus éphémère en raison de la sécheresse saisonnière plus longue. C'est la zone des sols châtains et des sols gris. En certains points bas, ces sols passent à des sols salins où se concentrent les sels solubles, en particulier le chlorure et le carbonate de sodium. Ces sels rendent parfois le sol impropre à toute végétation ; leur présence a valu à ces sols le nom de « sols alcalins». Ici les sels solubles amenés par évaporation des eaux profondes tendent à s'accumuler au voisinage de la surface: on peut donc considérer ces sols comme de véritables *sols illuviaux*, exactement opposés aux *sols éluviaux* des régions humides. Ils présentent dans

certains cas une réaction très fortement alcaline due à la présence du carbonate de soude.

Cette zone des steppes sèches, subdésertiques, entoure comme d'une auréole la région des véritables déserts qui s'étendent sur une partie de l'Asie Centrale et Orientale et se prolongent en Afrique dans les régions lybienne et saharienne. Les régions désertiques étant à peu près dépourvues de végétation et par définition essentiellement sèches, les vents y soulèvent des nuages de poussière dont les particules les plus ténues sont transportées à de grandes distances. Parvenant dans des régions où l'atmosphère est plus humide et le régime des pluies plus régulier, ces poussières formées de sable fin et de limon tendent à se déposer par suite de phénomènes de condensation. Ainsi s'établit, au voisinage des zones désertiques, de véritables zones d'alluvionnement éolien, dont le sol est généralement couvert d'une végétation steppique en voie de lent ensablement. Ces produits éoliens fins, aujourd'hui bien connus sous le nom de lœss, sont très abondants dans les steppes de l'Asie Centrale ; nous les retrouvons en Alsace, à l'état fossile ; c'est d'ailleurs dans la vallée du Rhin que ces formations ont pour la première fois reçu le nom de lœss.

La grande finesse des éléments constitutifs des lœss, l'absence de lessivage de leurs constituants basiques en raison du climat relativement sec des régions où ils se sont déposés, le mélange d'éléments variés d'origines très diverses, sont autant de caractères qui font des lœss des sols d'une extrême fertilité, lorsqu'un climat suffisamment humide permet aujourd'hui leur mise en culture.

Zone désertique. — Au delà de la ceinture des steppes subdésertiques nous pénétrons dans une zone plus sèche encore, celle des vrais déserts. La partie périphérique de cette zone, en contact avec les steppes lœssiques, est généralement constituée par des dunes de sable grossier dont l'origine est due ici encore à un *alluvionnement éolien*, mais sous un régime climatique plus brutal. Ces dunes portent souvent encore une végétation herbacée très intermittente, la couche épaisse de sable éolien constituant un réservoir de matières fertilisantes qui permet un rapide départ d'une végétation de graminées dès la chute des moindres pluies.

Dans la zone désertique centrale, au contraire, la pluie est un phénomène presque inconnu. Les différences de température très considérables entre le jour et la nuit, comme entre les diverses saisons, amènent la désagrégation superficielle des roches ; puis cette désagrégation physique s'accompagne d'un véritable triage par le vent des matériaux désagrégés. Les vents, particulièrement violents, en raison de la dessiccation de l'atmosphère et des brutales variations de température, arrivent à décaper presque entièrement le sol, n'y laissant que les pierres et les cailloux que leur poids maintient en place. On peut dire que les sols de ces déserts sont de véritables *sols d'érosion éolienne*, résultant sous l'effet du vent de la mise à nu de la roche-mère, plus ou moins réduite en blocs grossiers par l'action des variations

de température. Cette zone désertique centrale est aujourd'hui connue sous le nom de zone de *déflation*, par opposition avec les zones périphériques où prédomine *l'alluvionnement* éolien.

Climat océanique et climat continental. — Les pédologues russes étudiant les sols de leur vaste pays soumis à des variations climatiques dues principalement à la *latitude*, ont surtout souligné l'influence sur les sols des différences de température, qui se traduisent secondairement par une humidité plus grande dans les régions froides du Nord, par une sécheresse plus marquée dans les régions chaudes du Sud.

Mais ce partage de la Russie en deux zones est dû aussi à une autre influence : la zone Nord-Ouest subit l'influence *océanique atlantique* essentiellement humide, la zone Sud-Est l'influence *continentale centre-asiatique* essentiellement sèche. La limite des deux zones climatiques n'est pas Ouest-Est comme elle le serait sous la seule influence de la latitude, mais sud-ouest, Nord-Est.

Si nous quittons la Russie pour gagner l'Europe centrale, puis occidentale, nous voyons l'influence du climat océanique humide devenir de plus en plus prépondérante. Les sols tourbeux acides qui prolongent vers l'Ouest les sols de toundras occupent une place importante dans la presqu'île scandinave, en Ecosse, en Irlande, et jusque dans la Bretagne française.

Les sols podzoliques du Sud-Ouest de la France et de l'Espagne, sont également le prolongement lointain des podzols russes de position géographique beaucoup plus septentrionale. Ceci montre que si le facteur *température* joue un rôle considérable dans la répartition zonale des sols russes en fonction de la latitude, le facteur de l'*humidité climatique* joue un rôle non moins important lorsqu'on se place sur un plan géographique plus vaste, c'est-à-dire si l'on envisage la surface totale des continents et des océans.

Em. de Martonne a bien mis en évidence la double influence de la température et de la pluviosité dans la climatologie mondiale en proposant une fonction climatologique nouvelle, qu'il a nommée *l'indice d'aridité*. Appelant P la hauteur moyenne annuelle des précipitations exprimée en millimètres d'eau, T la température moyenne au même point en degrés centésimaux, l'indice d'aridité est le rapport :

$$\frac{P}{T + 10}$$

D'après cet auteur, *les régions désertiques*, sans écoulement (régions aréiques) présentent un indice d'aridité inférieur à 5. Les valeurs comprises entre 5 et 10 correspondent aux bordures des déserts avec écoulement temporaire et faible végétation : ce sont les *steppes désertiques*. Au dessous de l'indice 10 l'écoulement des eaux vers les Océans n'est presque jamais assuré ; les eaux s'accumulent dans des dépressions fermées qui ne débordent pas (régions endoréiques).

Au dessus de 20 l'écoulement vers l'Océan devient au contraire la règle (régions exoréiques).

De 10 à 20, la végétation est celle des steppes herbeuses et des savanes ; vers 30 les arbres prennent une place importante dans le paysage ; la forêt devient absolument prédominante vers 40.

J'ai cherché à me rendre compte de la relation qui peut exister entre cet indice d'aridité et les diverses propriétés des sols. Je me suis adressé en un premier lieu au pH. On sait que le pH est un indice permettant d'exprimer la réaction d'un milieu quelconque en fonction de la concentration des ions Hydrogènes qu'il contient. Ne voulant pas rappeler ici toute la théorie du pH, je dirai seulement que la réaction d'un milieu neutre est représentée par la notation *pH* 7,0 ; celle des milieux acides par les nombres inférieurs à 7 compris entre pH 6,9 et pH 1 ; celle des milieux alcalins par les nombres supérieurs à 7 compris entre pH 7,1 et pH 14.

Nous avons déjà vu que les sols de régions très humides, ayant subi un fort lessivage de leurs éléments basiques, ont tendance à s'acidifier plus ou moins fortement ; leur pH sera généralement inférieur à pH 7. Les sols des régions sèches au contraire subissent une forte évaporation qui ramène vers la surface les eaux profondes chargées de sels à réaction plus ou moins alcaline ; ils présentent par conséquent en général une réaction basique ; leur pH sera supérieur à pH 7.

J'ai étudié dans un travail précédent les sols des diverses régions de l'Afrique française : Tunisie, Algérie, Maroc, Sénégal, Soudan, Guinée, Côte d'Ivoire. Leurs pH, voisins de 8,0 dans les régions continentales comme la Tunisie, se rapprochent de la neutralité (pH 7) sur les côtes marocaines plus humides et s'abaissent jusqu'aux pH 4,0 et 5,0 dans les zones correspondant au maximum de pluviosité du climat équatorial. Ces sols équatoriaux très fortement lessivés en bases et même en silice soluble constituent les sols *latéritiques* à squelette alumo-ferrugineux.

Avec une très large approximation, nous pouvons admettre la répartition suivante du pH des sols à la surface des continents en fonction de l'indice d'aridité :

ZONES PÉDOLOGIQUES	*Indice d'aridité*	*pH*
Zone des toundras et zone tourbeuse	> 40	4 à 5
Zone podzolique	40 à 30	5 à 6
Zone des steppes herbeuses	30 à 10	6 à 7,5
Zone des steppes désertiques	10 à 5	7 à 8
Zone des déserts	> 5	> 7–8
Zone des steppes et savanes tropicales	5 à 40	6 à 7
Zone des forêts équatoriales ..... (sols latéritiques)	> 40	4 à 5

Influence de l'altitude. — L'existence des massifs montagneux trouble très largement la répartition des climats dans une même zone climatique générale.

Les Iles Canaries situées en plein dans la zone désertique tropicale où, au niveau de l'Océan, souffle l'alizé du Nord-Est qui n'amène pas de pluies, ont sur leurs côtes basses un climat relativement sec auquel correspondent des sols en majorité alcalins. Le sommet des montagnes canariennes qui atteint en certains points 3.700 mètres (Pic de Teyde à Ténérife) baigne au contraire dans les contre-alizés, vents humides venant des régions équatoriales atlantiques. J'ai eu l'occasion de montrer l'acidification marquée des terres en altitude, en fonction de la forte pluviosité, qui y règne.

L'existence des massifs montagneux permet de mettre en relief un autre facteur très important dans la genèse des sols, je veux parler de *l'érosion*. Il est souvent très difficile en montagne de trouver un sol climatique complètement évolué, la pente très forte du terrain ne permettant pas aux éléments du sol en formation de rester sur place, ceux-ci étant constamment déplacés vers l'aval sous l'action mécanique des eaux, des neiges ou des glaces. En dehors des sols climatiques précédemment étudiés, nous voyons ainsi se former, par érosion et alluvionnement, des *sols jeunes* peu évolués : *sols d'érosion* et *sols alluviaux*.

Beaucoup d'auteurs font de ces sols une classe à part : les *sols azonaux*, qu'ils opposent aux *sols zonaux*, ou sols climatiques que nous avons étudiés précédemment. En réalité, je ne pense pas qu'il faille les en séparer aussi complètement. Il est tout à fait exceptionnel que l'on ait affaire à des sols occupant une surface parfaitement horizontale. Même en sol de plateau ou de plaine, il existe presque toujours de légères dépressions, des thalwegs plus ou moins apparents, séparant des crêtes peu élevées. Le tout constitue un *micro-relief*, qui passe peu à peu à un relief plus accusé au voisinage des pentes qui délimitent le plateau ou la plaine. Les sols climatiques tels que je les conçois théoriquement tendent alors à voir leur épaisseur s'amenuiser sur les crêtes, souvent au point de disparaître totalement par place, avec apparition d'une boutonnière de sol *d'érosion* peu évolué entourée de sols climatiques plus évolués. Inversement, dans les dépressions ou sur les flancs peu inclinés des plateaux, tendront à s'accumuler les produits de l'érosion du sol climatique dominant ; il apparaît autour de la tache de sol climatique typique en place une véritable auréole de sols annexes déplacés formée par ruissellement superficiel ; je nommerai ces sols faiblement déplacés sur les pentes : *sols colluviaux*, pour les distinguer des *sols alluviaux*, dont les déplacements plus lointains sont dus à l'action des eaux courantes, ces derniers formant généralement des dépôts horizontaux au fond des thalwegs. Or l'importance relative des sols éluviaux en place, des sols d'érosion, des sols colluviaux annexes et des prolongements de sols alluviaux dans les thalwegs, est fonction et du relief général et de l'importance des précipitations atmosphériques.

Sous un climat de pluviosité intense le phénomène éluvial et l'alluvionnement seront considérables.

Sous un climat moins pluvieux, l'eau tendra plutôt à s'infiltrer dans le sol sans ruisseler, les sols éluviaux seront encore abondants, les sols colluviaux, avec faibles déplacements topographiques, auront une certaine importance, alors que nous n'observerons que des phénomènes alluviaux réduits.

Sous un climat plus sec encore le phénomène éluvial s'atténuera ; les eaux ne circulant plus au fond des thalwegs, ceux-ci s'encombreront d'éboulis descendus des pentes voisines, ou d'éléments alluviaux charriés sur de faibles distances. Les thalwegs continus se trouveront tronçonnés en un chapelet de bassins fermés, sans écoulement extérieur.

Sous un climat subdésertique, l'alluvionnement éolien sera prédominant ; les sables et les poussières charriés par les vents formeront des dunes ou s'étendront sous forme de couches de lœss éolien à la surface des coteaux dont ils tendront à empâter le relief.

Notons que les vents dominants, humides ou secs, agissent presque toujours avec une certaine continuité durant une période climatique donnée ; les vents humides, chargés de pluie, tendent à raviner le sol sur le versant qui leur fait face (versant au vent); nous y verrons généralement apparaître des sols d'érosion ; des sols éluviaux ou des sols colluviaux dus au ruissellement s'étendront au contraire largement sur le versant sous le vent. Inversement les lœss apportés par les vents secs s'accumuleront en général contre l'obstacle formé par le versant au vent, ils seront plus rares sur le versant opposé, sous le vent.

Sols d'érosion, sols éluviaux, sols colluviaux, sols alluviaux fluviatiles ou éoliens forment par conséquent un vaste ensemble d'origine essentiellement *climatique*, leur importance relative étant caractéristique du climat dominant ; nous considérons donc comme assez arbitraire de réserver le nom de *sols climatiques* aux seuls sols éluviaux les plus évolués, généralement décrits comme tels par la pédologie classique née d'études faite dans l'uniformité topographique de la vaste plaine russe.

Mais nous sommes loin d'avoir étudié encore tous les facteurs qui agissent sur la genèse des sols. Il est certain que l'évolution des sols ne sera pas la même, toutes conditions climatiques étant égales d'ailleurs, si le sol se forme à la surface de roches calcaires ou de roches siliceuses, de roches perméables ou imperméables, de roches dures ou de roches tendres. Il y a là un facteur géologique important : *le facteur pétrographique.*

La présence du calcaire dans un sol provoque la coagulation de l'argile et s'oppose au lessivage podzolique. Le phénomène podzolique ne commencera à se manifester, dans le sol formé à la surface d'une roche-mère calcaire, que lorsqu'il y aura eu non seulement décalcification complète de l'horizon éluvial superficiel, mais encore lavage presque complet du calcium adsorbé par les colloïdes argileux du sol. Deux sols voisins, ayant subi le lessivage éluvial durant une même

période de temps, ne présenteront donc pas les mêmes caractères si l'un s'est développé sur roche-mère calcaire, l'autre sur roche-mère siliceuse, le premier se trouvant en retard sur le second dans son évolution pédologique.

Une roche dure formant table résistera à l'érosion en bord de plateau, il se développera donc facilement à sa surface un horizon superficiel éluvial continu et largement étendu. Une roche meuble où l'érosion pénètre profondément par suite de l'abaissement facile du niveau d'érosion de base, donnera au contraire naissance à un relief général plus mou, plus tourmenté ; l'érosion ascendante étendra un réseau serré de vallons ; les sols d'érosion peu évolués prédomineront ; les sols éluviaux évolués n'y occuperont en général que des crêtes étroites séparant de larges vallées dont les flancs sont occupés par des sols d'érosion.

Une roche perméable dans laquelle l'eau de pluie pénètre facilement donnera naissance à des sols éluviaux bien caractérisés : c'est le cas des sables siliceux qui, sous le climat atlantique, portent des sols podzoliques très évolués. Les roches argileuses au contraire s'opposeront à l'infiltration des eaux de pluie, qui ruisselleront en surface. Sur roche-mère argileuse, les sols colluviaux seront en général beaucoup plus étendus que les sols éluviaux.

Il est enfin un dernier facteur très important d'évolution des sols, qui se trouve appartenir à la fois aux domaines climatique et géologique ; ce facteur est *la variation du climat* en une même région, au cours des temps géologiques passés. Je vais m'efforcer, dans les pages qui vont suivre, de mettre en relief l'influence de ce *facteur géologique* ou facteur climatique fossile dans la genèse et l'évolution des formations quaternaires de la plaine d'Alsace.

Puisqu'il s'agit pour une large part de l'étude de véritables sols fossiles, j'ai utilisé pour l'étude des formations quaternaires les méthodes pédologiques généralement employées pour l'étude des sols actuels. En particulier, je leur ai appliqué d'une part l'étude morphologique du profil pédologique, d'autre part les méthodes d'analyses physique et chimique qui permettent de préciser les caractères et le degré d'évolution des divers sols rencontrés.

NOTE : L'analyse physique des sols a été effectuée suivant la méthode Robinson (méthode pipette). Pour l'analyse chimique : les pH ont été déterminés électriquement à la quinphydrone ; l'azote total par la méthode Kjeldahl ; les éléments totaux P^2O^5 et K^2O par la méthode des Stations Agronomiques à l'acide nitrique bouillant ; les éléments assimilables P^2O^5 et K^2O par la méthode Schlœsing de Sigmond à l'acide nitrique dilué.

Chapitre II.

LE CLIMAT ACTUEL DE L'ALSACE.

Avant d'entreprendre l'étude des sols fossiles et des variations climatiques du passé alsacien, il est indispensable de jeter tout d'abord un coup d'œil sur le climat actuel de l'Alsace.

Ce climat est essentiellement fonction de la topographie alsacienne ; l'Alsace, en effet, présente sur une faible étendue des différences considérables en altitude, qui se traduisent au point de vue climatique par des différences plus considérables encore.

La plaine alsacienne est constituée par un vaste fossé d'effondrement tectonique, de trente à quarante kilomètres de large en moyenne et de direction générale Nord-Sud, compris entre deux massifs anciens : les Vosges à l'Ouest, la Forêt-Noire à l'Est. Ce fossé constitue aujourd'hui la plaine du Rhin et celle de son affluent de rive gauche, l'Ill, qui, parallèlement au fleuve principal, traverse toute la plaine d'Alsace, de Mulhouse à Strasbourg. Cette plaine est à une altitude de 240 m. environ à Mulhouse, de 140 m. à Strasbourg ; elle est dominée à l'Ouest par les Vosges, qui culminent à 1.424 m. au Ballon de Guebwiller, pour s'abaisser lentement vers le Nord où, à partir du Col de Saverne, elles se confondent avec le rebord du plateau lorrain.

Au Sud-Ouest, la Trouée de Belfort est un seuil d'altitude de 350 m. qui sépare l'Alsace du Bassin du Doubs, et les Vosges du Jura.

Le climat général de l'Europe occidentale est un climat atlantique tempéré avec dominante des vents du Sud-Ouest. La barrière des Vosges, qui se dresse à l'Ouest de l'Alsace, modifie considérablement ce climat général et fait des divers climats alsaciens autant de climats particuliers s'écartant parfois considérablement du climat général que nous venons d'indiquer.

Etudions successivement le régime des vents, des pluies et des températures dans les diverses parties de l'Alsace, nous verrons ensuite quelle peut être l'influence de ces conditions climatiques sur les sols alsaciens (1).

---

(1) Tous les chiffres et la majeure partie des renseignements météorologiques contenus dans ce chapitre m'ont été très aimablement fournis par M. Rempp, professeur à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, auquel je suis heureux d'exprimer ici toute ma reconnaissance.

Les vents.

Les vents dominants en Europe occidentale sont les vents du Sud-Ouest ; leur direction étant celle de la Trouée de Belfort, il n'est pas surprenant de trouver à Mulhouse, c'est-à-dire au débouché de cette trouée dans la plaine d'Alsace, une dominance très nette des vents du Sud-Ouest, un second maximum moins important marque à Mulhouse la direction opposée, celle des vents du Nord-Est (voir tableau ci-joint).

Au sommet des Vosges (voir Grand Ballon), en raison de l'altitude, nous observons une légère déviation des vents vers la droite, ce qui est un phénomène d'ordre général en météorologie : la dominante est donc celle des vents *d'Ouest*, d'origine franchement atlantique.

DIRECTION DES VENTS EN ALSACE

% des observations
(3 observations par jour)
Moyennes de 10 années (1911—1920)

(d'après un tableau manuscrit de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg).

	%	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calme
Hiver	Grand Ballon ..	12,8	13,2	3,4	2,7	2,9	20,6	**25,3**	16,1	2,8
	Mulhouse	6,8	21,5	4,9	6,3	13,2	**34,5**	11,3	1,4	0
	Strasbourg	17,6	10,8	1,6	2,8	30,9	18,6	7,1	4,6	5,9
Printemps	Grand Ballon ..	11,8	14,9	5,7	3,6	3,4	16,8	**24,6**	16,2	2,9
	Mulhouse	10,0	25,3	3,2	2,9	6,2	**33,9**	15,1	3,4	0
	Strasbourg	**20,8**	16,3	2,8	2,8	**20,7**	15,3	9,5	7,1	4,8
Eté	Grand Ballon ..	6,6	13,6	6,9	4,2	3,3	15,5	**29,2**	18,0	2,7
	Mulhouse	6,2	21,8	2,7	2,0	5,2	**41,6**	16,0	4,5	0
	Strasbourg	18,6	12,0	3,9	2,8	**19,5**	16,2	12,2	8,2	6,7
Automne	Grand Ballon...	8,1	15,2	6,3	4,7	3,4	18,3	**27,4**	13,8	2,6
	Mulhouse	7,9	26,8	4,9	4,0	8,1	**33,6**	11,8	2,9	0
	Strasbourg	21,3	13,0	2,8	3,0	**22,7**	16,6	7,8	4,5	8,2
Moyenne de l'année	Grand Ballon ..	9,8	14,3	5,5	3,8	3,2	17,8	**26,6**	16,0	2,7
	Mulhouse	7,7	23,9	3,9	3,8	8,2	**35,9**	13,6	3,1	0
	Strasbourg	19,6	13,0	2,8	2,8	**23,4**	16,7	9,2	6,1	6,4

([1]) Pour le Grand Ballon, les pourcentages portent sur 19 années, de 1889 à 1907.

A Strasbourg, au contraire, qui se trouve en plein dans le couloir encaissé de la vallée du Rhin, abrité des vents d'Ouest, nous trouvons *deux* directions dominantes, parallèles à la vallée ; les deux maxima portent à Strasbourg sur les vents du Sud et les vents du Nord. Les vents du Sud dominent en hiver, ils sont presque exactement équilibrés en pourcentage par les vents du Nord pendant les autres saisons.

On note aussi, à Strasbourg, une proportion notablement plus forte de vents faibles ou nuls que, par exemple, sur le plateau lorrain. Cette particularité de la vallée rhénane, qui est également une conséquence de sa situation encaissée, se traduit au point de vue « bioclimatologique » par une accentuation de son caractère continental.

Les pluies.

Les pluies se répartissent en Alsace d'une manière absolument conforme à ce que peut laisser prévoir la topographie d'une part, le régime des vents d'autre part. Un maximum de pluviosité considérable existe dans la partie Sud de la chaîne des Hautes-Vosges où se trouvent les altitudes les plus élevées. Un maximum relatif se prolonge vers le Nord, le long de la crête principale, sur celle-ci et un peu à l'Est, les vents pluvieux de l'Ouest entraînant pluie et neige au delà de la crête elle-même ; c'est d'ailleurs à ce fait, augmenté par les phénomènes de chasse-neige sur les crêtes dénudées, qu'est due, dans le passé, la formation des cirques glaciaires sur les flancs Est et Nord-Est des crêtes vosgiennes.

Le tableau ci-dessous montre bien, dans les Vosges, la décroissance de la pluviosité vers le Nord (Rothau) et à partir de la crête vers l'Est (Lac de la Lauch à Guebwiller).

MOYENNES MENSUELLES DES HAUTEURS DE PLUIE EN ALSACE
(en mm. d'eau).
d'après WAGNER E. E.
(Regenkarten von Elsass-Lothr. mit Text und Tabellen, Thèse, Strasbourg 1916).
Moyennes de 30 années (1881—1910)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
Vosges													
Lac d'Alfeld	177	173	191	141	144	145	155	124	141	222	194	258	2065
Lac de la Lauch .	177	160	165	135	147	160	160	117	136	192	190	240	1979
Grand Ballon.....	171	160	181	120	120	161	161	126	129	166	157	242	1894
Sengern	115	106	112	87	87	106	106	82	85	116	113	129	1249
Guebwiller	64	54	63	53	64	**81**	77	62	60	76	68	79	801
Rothau	98	96	107	81	95	100	111	91	91	117	110	143	1240
Jura													
Wolschwiller	53	52	64	80	95	**110**	98	89	86	90	60	65	942
Trouée de Belfort													
Heimsbrunn	47	48	57	56	68	**80**	79	70	75	83	71	68	802
Plaine d'Alsace													
Mulhouse	45	41	47	49	57	68	**73**	61	66	70	57	59	693
Strasbourg	32	34	43	47	65	78	**90**	68	64	63	45	42	671
Colmar	22	23	28	36	51	**64**	63	47	49	51	36	28	498

Dans le Jura alsacien, moins élevé que les Vosges, nous observons une pluviosité plus réduite, atteignant cependant encore près de 1000 mm. par an (Wolschwiller 942 m.).

La hauteur d'eau décroît dans le Sundgau, prolongement de la trouée de Belfort (802 mm. à Heimsbrunn) pour tomber à 693 mm. à Mulhouse, à l'entrée de la plaine d'Alsace.

Le minimum pluviométrique d'Alsace se trouve au centre même de la plaine alsacienne, à Colmar (498 mm.). Cette ville étant, grâce aux Hautes-Vosges méridionales, complètement « sous le vent », par rapport aux vents dominant pluvieux du Sud-Ouest, ceux-ci ne lui parviennent qu'après avoir abandonné leur humidité par détente sur les crêtes, sous forme de pluie ou de neige. Il est d'ailleurs fréquent de voir, de la plaine où règne un beau soleil, les Vosges couronnées de nuages venant de l'Ouest et ne parvenant pas à franchir la crête principale où ils paraissent accrochés.

A Strasbourg, l'altitude relativement plus basse des Vosges, vers l'Ouest, et celle encore élevée de la Forêt-Noire, vers l'Est, provoquent une reprise de la pluviosité par rapport au minimum colmarien. Cette reprise se traduit d'ailleurs par un maximum de pluviosité dans la région de Haguenau.

Par la hauteur moyenne annuelle des pluies, l'influence océanique dominante est donc très nette sur les Hautes-Vosges où règne un maximum de pluviosité, l'influence continentale étant aussi nette dans la basse-plaine colmarienne où s'observe un minimum de pluviosité.

Le régime pluviométrique, c'est-à-dire la répartition des pluies au courant des différents mois de l'année, est non moins caractéristique :

— régime atlantique à maximum de pluviosité hivernal sur les Hautes-Vosges,

— régime continental à minimum de pluviosité hivernal très prononcé dans la plaine d'Alsace. Ce dernier régime est voisin de celui observé, beaucoup plus à l'Est, dans la plaine tchécoslovaque.

Le tableau ci-dessous compare les régimes des Vosges et de la plaine d'Alsace à ceux des climats bretons et parisiens, intermédiaires entre les deux extrêmes que nous venons d'observer.

RÉGIME ANNUEL DES PLUIES

d'après E. E. Wagner (loc. citée) et calculés d'après Angot (Traité élémentaire de Météorologie).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total ann.
Lac d'Alfeld.	177	173	191	141	144	145	155	124	141	122	194	258	2065
Brest	83	66,5	52	53	45,5	50	50,5	54,5	72	98	93	86	803
Paris	39,5	31	41	42	53	58,5	56	54,5	50	59	46	45	575
Colmar	22	23	28	36	51	64	63	47	49	51	36	28	498

La température.

Le régime des températures en Alsace est avant tout sous l'influence de l'altitude. Les minima se trouvent au voisinage de la crête des Hautes-Vosges (3°,4 au Grand Ballon) ; la plaine se tient au contraire au voisinage de 10°, avec un maximum très net dans la région colmarienne (10°,6) et des températures légèrement plus basses vers le Nord et vers le Sud (9°,7 à Strasbourg et 9°,9 à Mulhouse). Ce maximum de

TEMPÉRATURE MOYENNE EN ALSACE
(en degrés centigrades)
d'après l'Annuaire de l'Institut de Physique du Globe, 1920, p. 91.
Moyennes de 30 années (1891—1920)
(pour le Grand Ballon — 25 années).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy. annuelle
Vosges													
Grand Ballon	–4,0	–3,4	–1,8	1,6	5,8	9,2	11,1	10,8	8,3	4,5	0,4	–2,3	3,4
Lac de la Lauch	–2,2	–0,7	1,2	5,0	8,7	12,2	14,1	13,6	11,0	6,9	2,2	–0,5	6,0
Rothau	–0,4	1,1	4,0	7,5	12,0	15,0	16,5	15,8	13,0	8,4	3,8	1,5	8,2
Plaine Alsacienne													
Mulhouse ..	0,4	2,1	5,7	9,7	14,2	17,4	19,0	18,4	14,8	9,7	4,7	2,3	9,9
Strasbourg ..	0,3	2,1	5,7	9,7	14,2	17,4	18,6	17,8	14,4	9,4	4,5	2,1	9,7
Colmar	0,9	3,0	6,5	10,6	15,1	18,4	19,8	19,2	15,6	10,4	5,2	2,8	10,6

la température moyenne dans la région colmarienne, qui est aussi la plus sèche, paraît provenir, pour une part au moins, de l'existence du fœhn soufflant de la montagne vosgienne ; les vents d'Ouest se réchauffent ici, par compression, en descendant vers la plaine après s'être détendus en franchissant les Vosges, et y avoir abandonné la plus grande partie de leur humidité. La différence des températures entre la montagne et la plaine, relativement forte en été, s'atténue en hiver suivant la norme, la plaine étant cependant plus froide en hiver en raison de sa situation encaissée qu'elle ne le serait sans cela. Des inversions de température sont fréquentes en hiver, le couloir rhénan étant alors occupé par une masse stagnante d'air froid, où ont tendance à se condenser de forts brouillards, alors que la montagne jouit à ce moment d'un ciel pur et d'un beau soleil. Cette condensation des brouillards en hiver dans la basse-plaine, placée sous un régime froid et continental, paraît avoir joué jadis un rôle important lors du dépôt des fines poussières dont l'accumulation a constitué les lœss de la plaine d'Alsace, totalement inconnus en montagne et dans les vallées vosgiennes.

Si nous cherchons à appliquer le coefficient d'aridité de E. de Martonne aux deux extrêmes du climat alsacien, c'est-à-dire au maximum de pluviosité vosgien et au minimum de la plaine colmarienne, nous trouvons les chiffres suivants :

$$\text{pour le Grand Ballon : } \frac{P}{T+10} = \frac{1894}{3{,}4+10} = 141$$

$$\text{pour Colmar : } \frac{P}{T+10} = \frac{498}{10{,}6+10} = 24$$

(P = précipitation en mm. d'eau par an, T = température moyenne annuelle).

Pour le Grand Ballon l'indice d'aridité de 141 correspond très sensiblement à celui des régions de l'extrême-Nord atlantique. Les

sols que nous observons sur les crêtes des Vosges sont d'ailleurs des sols de tourbières acides avec végétation de sous-abrisseaux de myrtilles et de bruyères. Ce sont les sols typiques des régions Nord-atlantiques. Notons l'absence presque absolue des arbres sur les crêtes des Hautes-Chaumes, qui donne un caractère de toundra aux sols qui les couvrent. Le caractère arctique de ces sols est accentué encore par l'existence de phénomènes de solifluxion, signalés par G. Rempp et J. P. Rothé, en particulier sous la forme des faux sentiers de vaches du Kastelberg et des réseaux de buttes, comme ceux d'entre le Batteriekopf et le Rothenbachkopf.

A Colmar, au contraire, l'indice d'aridité de 24 confine à celui des régions steppiques. Or, dans la plaine colmarienne, les sols noirs, à faciès de pseudo-tchernozioms et bien pourvus en calcaire, sont très abondants et les alluvions modernes de la basse-plaine du Rhin ne présentent aucun signe de décalcification. La flore de cette région d'après Issler, est une flore nettement continentale ; les espèces végétales spécifiquement atlantiques y sont à peu près inconnues.

Notons d'ailleurs que les pluies dans la dépression alsacienne sont en majorité des pluies d'été et tombent par conséquent à une époque de l'année où l'évaporation est maximum. Les pluies d'hiver, les plus rares ici, sont au contraire les plus décalcifiantes, puisque tombant à une époque où l'évaporation est minimum et s'infiltrant par conséquent presque intégralement dans le sol. La faiblesse des pluies d'hiver, caractéristique du climat continental colmarien, doit donc être considérée comme une des causes principales de la faible évolution actuelle des sols les plus récents dans la basse-plaine alsacienne.

Entre ces deux extrêmes, sols tourbeux, de faciès Nord-atlantique et sub-arctique, sur les sommets des Hautes-Vosges, et sols noirs steppiques de pseudo-tchernozioms dans la région colmarienne, on observe sur les sommets secondaires, sur les pentes des Vosges, dans la Trouée de Belfort et même sur les terrasses alluviales anciennes de la plaine, des sols bruns plus ou moins évolués et lessivés, passant même, sur les sommets de la région du Linge par exemple, à de véritables podzols, avec horizon éluvial A_1 complètement blanchi et horizon illuvial B formant un alios ferrugineux dur et compact.

En résumé, nous voyons donc en Alsace, au point de vue climatique comme au point de vue sol, l'existence de deux types opposés :

— type Nord-atlantique très fortement accusé avec même caractère arctique assez prononcé, au sommet des Vosges,

— type continental substeppique, dans la plaine colmarienne.

Ces deux climats s'écartent fortement, et en sens opposé, du climat général, atlantique et tempéré, de l'Europe occidentale, dont l'influence tend cependant à se faire sentir en Alsace par la Trouée de Belfort, ce climat tempéré correspondant, au point de vue sol, aux sols bruns, décalcifiés et plus ou moins lessivés, avec tendance à la podzolisation, lorsque la position topographique et la nature de la roche-mère sont favorables au processus podzolique.

Chapitre III

LA BASSE-TERRASSE DE SCHILTIGHEIM

Aux environs de Strasbourg, entre les coteaux où l'on remarque les restes de très anciens niveaux quaternaires et la plaine alluviale actuelle du Rhin et de l'Ill, s'observent une série de terrasses géologiquement et morphologiquement caractérisées et qui ont été groupées généralement, depuis longtemps, en Haute-Terrasse (Hangenbieten, Achenheim, Mundolsheim) et Basse-Terrasse (Schiltigheim, Lingolsheim).

A. Briquet a révisé ces niveaux de terrasses, notamment en sa note « Le Quaternaire de l'Alsace » (1930), et distingué une Basse-Terrasse ou Terrasse à berge haute, une Moyenne-Terrasse ou Terrasse de Schiltigheim, une Haute-Terrasse ou Terrasse de Hangenbieten, plus ou moins découpées en niveaux secondaires.

Pourtant Commont en 1912 avait montré que la Terrasse de Hangenbieten était équivalente d'une Moyenne-Terrasse de la Somme et des cours d'eaux du Nord de la France.

Dans sa notice « Succession Stratigraphique des terrains secondaires, tertiaires et quaternaires de la dépression alsacienne de Saverne » (1933) G. Dubois a tenté de classer les formations quaternaires strasbourgeoises en un cadre stratigraphique plus général et distingué, en commençant par les plus récentes, les terrasses alluviales suivantes :

1° a^{2r} *Alluvions modernes.*

2° a^{1} *Flandrien inférieur* — alluvions vosgiennes des terrasses latérales de Rœttig, Hœrdt, Haguenau sans couverture lœssique.

3° a, *Monastirien* (= *Ambianien*) alluvions anciennes vosgiennes ou rhénanes de la terrasse de Schiltigheim ou Basse-Terrasse, à couverture de lœss récent.

4° a,, *Tyrrhénien* — alluvions anciennes, vosgiennes au sommet, rhénanes à la base de la Terrasse de Hangenbieten, Mundolsheim ou *Moyenne-Terrasse.* C'est l'ancienne Haute-Terrasse des auteurs alsaciens. Elle est recouverte d'une épaisse couche de limons lœssiques, nous l'étudierons en détail à Achenheim où elle est particulièrement typique.

5° a,,, - a IV *Milazzien — Silicien* — alluvions très anciennes de Rosheim, restes d'une *Haute-Terrasse* (pour mémoire).

6° p^{1} Calabrien (= Villafranchien) argiles, sables et graviers de Riedseltz (pour mémoire).

Je conserverai ce cadre, au moins dans ses traits généraux, et étudierai successivement la Basse-Terrasse (Schiltigheim, Lingolsheim) et la Moyenne-Terrasse (Achenheim).

La *Basse-Terrasse* des environs de Strasbourg présente une surface supérieure assez régulière atteignant une altitude voisine de 150 mètres. Elle domine la plaine de l'Ill et du Rhin qui, à Strasbourg, se trouve à l'altitude de 137 mètres. Cette Basse-Terrasse présente une différence de structure considérable entre la partie située au Nord du cours actuel de la Bruche et la partie située immédiatement au Sud de cette rivière (voir fig. 1).

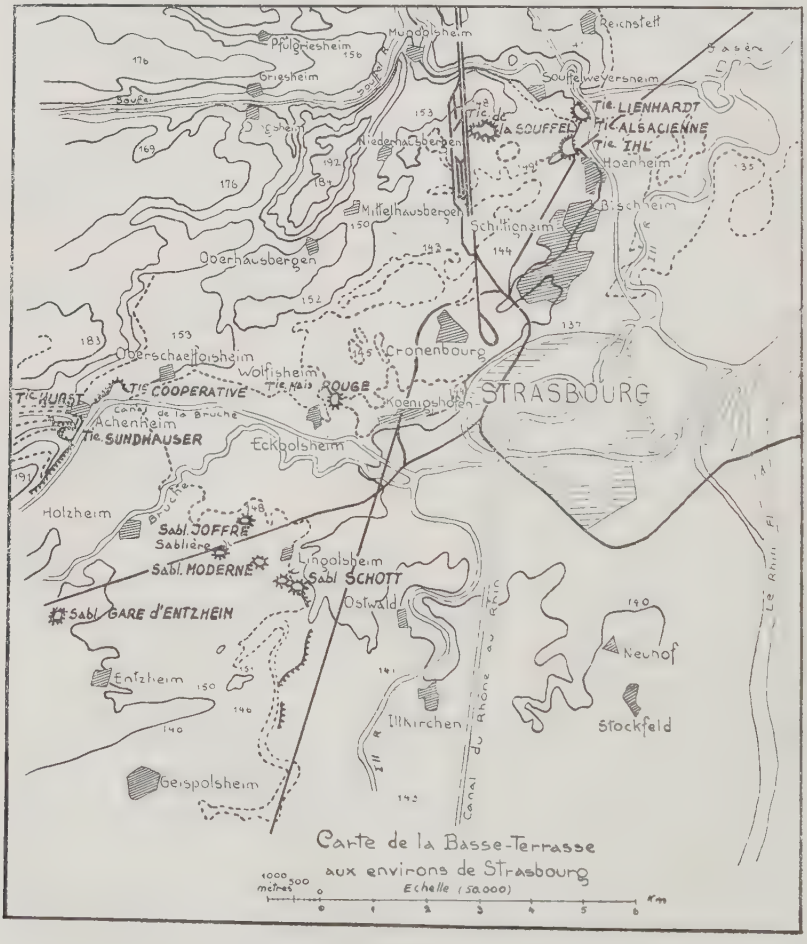


FIG. 1.

Carte de la Basse-Terrasse aux environs de Strasbourg.

Nous allons étudier successivement ces deux régions que nous appellerons pour la commodité du langage : *Terrasse de Schiltigheim* (au Nord de la Bruche) et *Terrasse de Lingolsheim* (au Sud de la Bruche).

Le présent chapitre est consacré à l'étude de la Basse-Terrasse de Schiltigheim, le prochain à l'étude de celle de Lingolsheim.

La masse principale de la Terrasse de Schiltigheim est formée par des assises de lœss nettement stratifié dans la partie inférieure et moyenne et ne prenant l'aspect de lœss éolien que dans la partie supérieure. La carte géologique au 1/25.000 des environs de Strasbourg, de Schumacher (1883) indique d'ailleurs ce lœss comme « lœss des bas niveaux avec coquilles terrestres et fluviatiles».

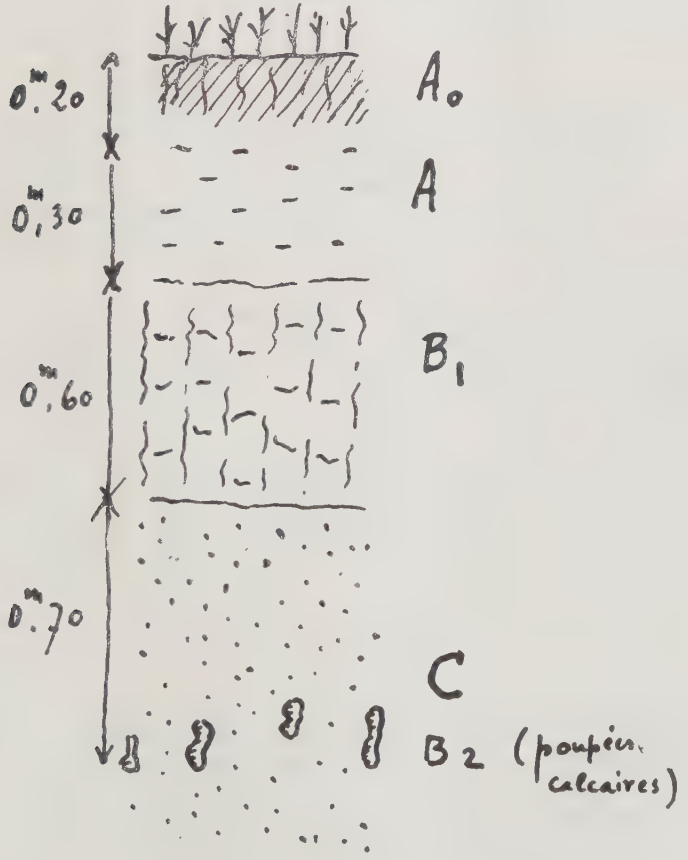


FIG. 2.

Profil du sol de lehm brun décalcifié et lessivé sur lœss calcaire de la Briqueterie de la Souffel à Souffelweyersheim.

La surface du lœss supérieur présente une couche de *lehm* de décalcification qui occupe les parties culminantes du plateau, en particulier entre Souffelweyersheim, Mundolsheim, Niederhausbergen et Mittelhausbergen ; les différentes taches de lehm sont aujourd'hui séparées par des vallées d'érosion qui apparaissent très bien sur la feuille de Schiltigheim de la carte au 1/20.000 du Service géographique de l'Armée (reproduction du 1/25.000 allemand). Ce lehm constitue un *sol éluvial de plateau* tout à fait typique.

Une bonne coupe de ce sol de plateau, formé à la surface du lœss, existe dans l'exploitation de la *Briqueterie de la Souffel* à l'Ouest de la route de Strasbourg à Brumath. A l'endroit étudié, situé sur le front Nord de l'exploitation, la couche de lehm décalcifié présente une épaisseur d'environ 1 m. 20. Par suite d'érosion superficielle l'épaisseur de cette couche décroît rapidement vers l'Est, au fur et à mesure qu'on se rapproche de la route.

Tableau I.

ÉCHANTILLONS DE SOL ET SOUS-SOLS.
BRIQUETERIE DE LA SOUFFEL A SOUFFELWEYERSHEIM.

ORIGINE HORIZONS PÉDOLOGIQUES PROFONDEURS	Sol superficiel A 0 à 0 m. 50	Lehm argil. B_1 0,50 à 1 m. 10	Lœss blanc C à 1 m 40	Lœss jaunâtre sableux à 4 m. 00
Analyse physique %				
Sable grossier (2 à 0 mm. 2)	0,8	0	0	0,1
Sable fin (0 mm. 2 à 0, mm. 02)	58,0	48,0	39,4	48,8
Limon (0 mm. 02 à 0, mm. 02)	20,0	22,5	18,7	18,0
Argile (inf. à 0 mm. 002)	17,0	25,0	16,0	9,0
Calcaire	0	0	21,5	21,0
Sesquioxydes solubilisés	1,2	1,2	2,3	1,8
Humidité	2,8	3,4	1,7	1,3
Analyse chimique °/oo				
p. H.	6,8	6,7	7,35	8,0
Azote total °/oo	1,40	0,50	0,50	0,35
$P^2 0^5$ total °/oo	1,44	1,36	1,48	1,24
$P^2 0^5$ assimilable °/oo	0,42	0,43	0,60	0,76
$K^2 0$ totale °/oo	1,82	3,36	2,52	1,96
$K^2 0$ assimilable °/oo	0,30	0,09	0,07	0,12

Le profil pédologique du sol (voir fig. 2 et photo 1, planche I) est le suivant :

A_0 — horizon humifère superficiel cultivé brun noirâtre.

A — horizon éluvial brun clair à structure granuleuse.

B_1 — *horizon illuvial argileux*, brun rouge, à structure nettement prismatique, présentant de nombreuses fentes de retrait verticales.

C — roche-mère de lœss éolien blanc calcaire contenant un horizon de poupées de taille moyenne, qui constitue un second horizon *illuvial* B_2 *calcaire*.

A une profondeur d'environ 4 mètres, le lœss présente un aspect nettement plus sableux, légèrement stratifié et de teinte plus jaune.

Le tableau I indique les résultats de l'analyse physique et chimique des échantillons appartenant à ces divers horizons.

A — sol éluvial, est caractérisé par sa richesse en sable siliceux fin et en limon, par une teneur encore assez élevée en argile, qui lui confère une structure granuleuse favorable aux façons culturales et au développement des racines. Absence complète de calcaire et réaction légèrement acide (pH 6,8).

B_1 — lehm argileux rougeâtre, entièrement décalcifié comme le précédent, moins riche en sable, mais enrichi au contraire en argile à laquelle il doit sa structure prismatique très caractéristique. Réaction légèrement acide (pH 6,7).

C — roche-mère de lœss blanc calcaire, fin, assez riche en argile.

Si nous calculons la teneur en sable fin, limon et argile, du lehm résultant de la décalcification simple de ce lœss contenant :

sable fin	39,4 %	74,1 d'éléments silico-alumineux
limon	18,7 %	
argile	16,0 %	
calcaire	21,5 %	

nous trouvons les teneurs théoriques suivantes :

sable fin	53,2 %
limon	25,2 %
argile	21,6 %
total	100,0

D'après sa teneur en éléments divers, le sol superficiel A correspond donc bien à un appauvrissement éluvial en argile du lehm initial, avec enrichissement correspondant en sable fin.

L'horizon B_1 correspond au contraire à un enrichissement illuvial en argile, avec baisse correspondante de la teneur en sable fin :

	A (éluvial)	Lehm théorique	B_1 (illuvial)
Sable fin.....	58,0	53,2	48,0
Limon	20,0	25,2	22,5
Argile	17,0	21,6	25,0

Notons d'autre part la teneur relativement élevée en sable siliceux fin du lœss sableux jaunâtre inférieur, par rapport au lœss blanc supérieur, lui-même plus riche en argile.

Au point de vue analyse chimique, nous noterons d'une part la richesse en azote humique du sol superficiel vivant par rapport aux horizons inférieurs, et d'autre part l'accumulation illuviale de la potasse totale dans l'horizon argileux B_1. Il est curieux de constater par contre la faible variation de la teneur en acide phosphorique total dans les

divers horizons décalcifiés ou non. Il peut y avoir là une conséquence d'un enrichissement superficiel secondaire en acide phosphorique par les fortes fumures pratiquées dans la région.

En résumé, nous sommes à la Briqueterie de la Souffel en présence *d'un sol brun* éluvial entièrement décalcifié, présentant une migration partielle assez importante des colloïdes argileux, migration indiquant un début d'évolution podzolique, n'allant pas jusqu'à décoloration complète de l'horizon éluvial. Ce sol recouvre l'ancienne table du plateau lœssique aujourd'hui morcelée par l'érosion ascendante.

Une vaste zone de sols d'érosion peu évolués sur lœss calcaire occupe en effet la bordure du plateau entre Souffelweyersheim et Bischheim et se développe largement entre Schiltigheim et Eckbolsheim, où le plateau lui-même se trouve presque entièrement découronné de sa couverture de lehm éluvial. Une série de couloirs d'érosion pénètre plus profondément l'intérieur du plateau. Le lœss, quoique présentant une structure assez résistante pour pouvoir être taillé en parois verticales ou creusé de cavités qui en certaines régions d'Alsace servent de cave ou d'écurie, est cependant une roche tendre, résistant mal à l'érosion par les eaux courantes, aussi le niveau d'érosion de base tend-il à s'abaisser peu à peu, jusqu'au niveau de la plaine actuelle. Cet abaissement ne s'est pas fait en une seule fois ; plusieurs niveaux d'érosion sont en effet visibles dans l'exploitation de la *Briqueterie Charles Ihl* à Hœnheim.

La partie haute de l'exploitation (fig. 2) qui s'appuie au Nord sur la route de Hœnheim à Souffelweyersheim, est située dans la zone d'érosion du lœss. Sur la photographie N° 2, planche I, on aperçoit, à l'extrême droite, des arbres et une maison situés en bordure de la dite route. L'affleurement en surface du lœss non différencié y est bien visible.

Plus au Sud, en contre-bas, se développe une belle couche de lehm ; c'est la partie actuellement en exploitation ; les Allemands avaient construit, pendant la guerre de 1914-18, une casemate de béton dont les fondations reposent directement sur le lœss, après qu'on eut enlevé le lehm argileux superficiel. Dans cette partie de l'exploitation le lehm brun qui dépasse en certains points 2 mètres d'épaisseur, occupe le fond d'une vaste dépression creusée dans un lœss calcaire jaunâtre, assez sableux nettement stratifié et contenant en certains points des petits lits de sable rougeâtre.

Le travail d'extraction s'accomplit aujourd'hui, au Sud de la casemate, au flanc d'une coupe de lœss calcaire sableux d'environ 6 mètres de hauteur, recouvert d'un mètre de lehm brun ; on observe un lit de poupées, au niveau du fond actuel de la carrière, c'est-à-dire à 7 mètres environ au-dessous du sol naturel. Ces poupées sont contenues dans un lœss très sableux, de couleur verdâtre. Des ossements sont assez fréquemment trouvés au voisinage de la limite des deux couches. G. Dubois a cité *Citella rufescens* en provenance des lœss d'Hœnheim (C. R. Soc. Géol. de France n° 12, p. 177, 1929).

La présence d'un niveau de poupées, paraît indiquer l'existence passée d'un ancien sol éluvial au-dessus de ce niveau, sol établi à la surface du lœss inférieur, antérieurement au dépôt du lœss supérieur et qui aurait été érodé avant le dépôt de celui-ci. Les poupées représenteraient l'horizon illuvial calcaire seul témoin conservé en ce point de l'ancien sol éluvial de la surface du lœss inférieur.

Le lehm brun décalcifié qui occupe la partie supérieure de la coupe et qui atteint, nous l'avons vu, en certains points plus de 2 mètres d'épaisseur paraît être un lehm de remaniement accumulé au fond d'une dépression ou d'un vallon ; d'après la terminologie adoptée dans le chapitre précédent, nous sommes en présence d'un sol colluvial, formé par ruissellement sur la pente, et annexe du sol de lehm éluvial de la surface du plateau voisin étudié plus haut.

La dépression s'accentue, vers le Sud de l'exploitation actuelle, dans une partie de la carrière qui n'appartient pas à M. Ihl.

L'ancien fond de vallon ancien est à 3 mètres environ au-dessus du fond de carrière actuel, l'accumulation du lehm colluvial s'est faite très régulièrement ; il est possible de distinguer plusieurs phases successives de remblaiement (voir fig. 3 et photo 3, planche I).

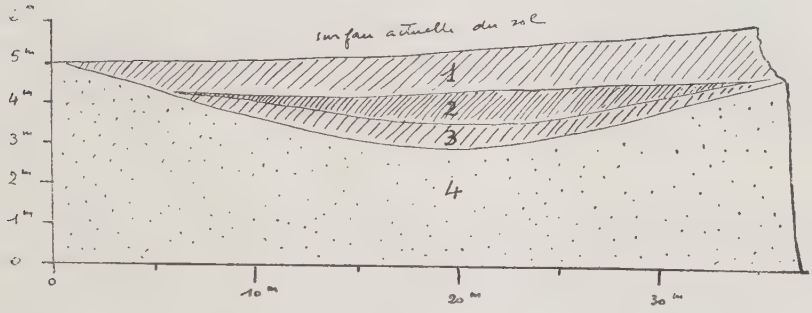


Fig. 3.

Lehms de comblement colluvial d'un vallon fossile des lœss de la Briqueterie Ihl à Hœnheim.

Au centre même du vallon ancien, qui, notons-le, n'apparaît plus du tout superficiellement dans la topographie actuelle, par suite de son comblement total par les produits colluviaux, nous observons de haut en bas la série suivante :

1° 1 mètre de lehm brun argileux légèrement calcaire,
2° 0 m. 90 de lehm noir fortement argileux fendillé (structure prismatique) entièrement décalcifié,
3° 0 m. 60 de lehm brun entièrement décalcifié reposant sur :
4° lœss calcaire en place.

L'épaisseur totale du lehm atteint donc ici 2 m 50.

Le tableau II nous donne une idée de la composition physique et chimique de ces lehms de fond de vallon.

TABLEAU II.

BRIQUETERIE CHARLES IHL A HŒNHEIM.
(Partie Sud de l'exploitation n'appartenant pas à M. Ihl.)
Grande dépression comblée par le lehm.

ORIGINE PROFONDEUR	Lehm brun supérieur 0 à 1 m.	Lehm noir 1 m, à 1 m. 90	Lehm brun inférieur 1m 90 à 2m50.	Lœss calcaire au-dessous de 2 m. 50
Analyse physique %				
Sable grossier (2 mm. à 0 mm. 2).	0,1	0	0	0
Sable fin (0 mm. 2 à 0 mm. 02) ..	53,2	49,0	50,0	47,5
Limon (0 mm. 02 à 0 mm. 002)..	19,0	19,5	22,0	17,0
Argile (inf. à 0 mm. 002)	22,0	27,0	24,0	13,0
Calcaire	0,8	0	0	18,5
Sesquioxydes solubilisés	1,4	1,3	1,3	2,5
Humidité	2.3	3,2	2.7	1.3
Analyse chimique °/oo				
p. H.	7,25	7,25	7,15	7,55
Azote total °/oo	0,82	0,84	0,35	0,20
$P^2 0^5$ total °/oo	0,94	1,34	1,45	1,26
$P^2 0^5$ assimilable °/oo	0,18	0,37	0,47	0,76
$K^2 0$ totale °/oo	3,09	4,03	1,99	1,63
$K^2 0$ assimilable °/oo.....	0,11	0,10	0.05	0,11

Le lehm brun inférieur est un lehm nettement plus argileux que le lehm éluvial qui forme le sol actuel de la table des plateaux (voir horizon A, tableau I). Il atteint presque comme teneur en éléments très fins (argile), le lehm de l'horizon illuvial B_1 du table I. Nous sommes nettement en présence d'un produit de lavage de pente riche en éléments fins, entraîné par le ruissellement dans un fond de vallon. Notons que ce produit de lavage est nettement moins riche en potasse totale que le lehm illuvial B_1 du tableau I.

Le *lehm noir*, qui surmonte le lehm brun précédent est encore plus argileux que lui ; sa teinte noire, due à sa teneur en matières carbonées d'origine humique, comme sa teneur en argile plus élevée, paraît indiquer un ralentissement de l'intensité des phénomènes de lavage des pentes, correspondant à une période climatique plus sèche. La teneur en potasse totale nettement supérieure à celle observée dans le lœss brun inférieur peut également s'expliquer par une pluviosité plus réduite provoquant une légère concentration des sels alcalins dans les bas-fonds. Notons que la teinte noire et la structure fendillée de ce sol ancien le rapprochent de certains sols noirs « alcalins », rattachés aux tchernozioms des steppes de l'Europe Centrale ou Orientale.

Nous observons au contraire un abaissement de la teneur en argile dans le lehm brun superficiel qui recouvre le lehm noir précédent. Cela paraît indiquer une reprise de la pluviosité ; l'érosion des pentes de lœss voisines sous l'effet des pluies introduit dans ce lehm colluvial superficiel une petite quantité de calcaire.

Ces divers horizons de lehms correspondent donc, non pas à des horizons pédologiques éluviaux ou illuviaux, mais à autant de sols colluviaux, se formant par apports successifs au fond d'une dépression aujourd'hui entièrement comblée et par conséquent fossilisée. La surface d'érosion actuelle en pente générale vers le sud, où se trouve le fond du vallon présent, tranche indistinctement les lehms colluviaux fossiles et les lœss, qui constituent par conséquent côte à côte des sols d'érosion de lehm décalcifié et de lœss calcaire.

Le fond du vallon actuel est lui-même occupé par un sol de lœss remanié colluvial, faiblement décalcifié situé à 2 mètres environ au-dessus du fond de la carrière et enterrant un *sol brun de lehm* encore légèrement calcaire. Ce dernier s'est constitué par un phénomène éluvial bien caractérisé à la surface du lœss qui formait la surface d'érosion ancienne du fond de vallon. Dans le lœss calcaire qui supporte ce lehm nous trouvons en effet un niveau régulier de petites poupées qui *suit très exactement les ondulations du sol brun* (voir fig. 4 et photo 4, planche II). Une zone d'érosion où le sol est formé par le lœss calcaire sépare l'affleurement de ce sol de lehm du lehm brun colluvial que nous avons étudié à la surface de la dépression fossile voisine, mais l'un et l'autre paraissent avoir été jadis en continuité topographique.

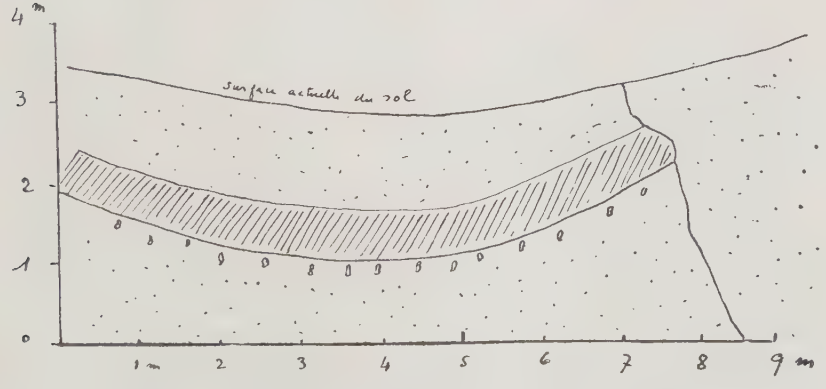


FIG. 4.

Sol de lehm éluvial fossile, d'âge énéolithique, enterré sous du lœss de remaniement au fond du vallon actuel de la Briqueterie Ibl à Hœnheim.

Nous avons trouvé dans ce sol brun enterré et en place un morceau de cuivre, en forme de haricot, à belle patine verte, et un débris de poterie grossière (anse de vase) (voir photo 5, planche II).

D'après L. G. Werner, Conservateur du Musée Historique de Mulhouse, l'âge de ces deux débris se situerait au début de l'âge des métaux, à la fin du Néolithique, c'est l'Enéolithique des auteurs actuels. Le lehm noir plus ancien du vallon fossilisé voisin appartiendrait donc selon toute probabilité au Néolithique. Nous reviendrons plus loin sur cette question.

Le tableau III donne l'analyse :

1° du sol d'érosion sur lœss calcaire qui sépare le vallon fossile comblé par le lehm du fond du vallon actuel. Notons sa très faible décalcification par rapport au lœss calcaire voisin, du tableau II ;

2° du sol actuel de lœss remanié du fond de vallon actuel. Ce sol, type de sol colluvial actuel, est légèrement décalcifié et un peu enrichi en argile par rapport au précédent ;

3° du sol éluvial brun enterré. Décalcification presque complète et richesse élevée en argile permettent une comparaison avec le sol de lehm colluvial supérieur du tableau II ;

4° du sous-sol de lœss *illuvial* qui contient de petites poupées. Dans ce dernier, en dehors de la présence des poupées qui marque l'existence d'une zone illuviale, nous observons un très sérieux enrichissement en calcaire, ce qui confirme le caractère illuvial de cet horizon.

Tableau III.

BRIQUETERIE CHARLES IHL A HŒNHEIM.
(Partie Sud de l'exploitation n'appartenant pas à M. Ihl.)
Fond du Vallon.

ORIGINE	Sol d'érosion sur lœss calcaire	Sol de lœss remanié	Ancien sol brun enterré	S/Sol de lœss calcaire illuvial
Analyse physique %				
Sable grossier (2 mm. à 0 mm. 2).	1,5	0	0	0
Sable fin (0 mm. 2 à 0 mm. 02) ..	45,0	47,6	50.0	39,2
Limon (0 mm. 02 à 0 mm. 002)...	17,0	13,5	19.0	13,0
Argile (inf. à 0 mm. 002)	15,2	18,2	24,5	10,0
Calcaire	17,5	11,6	2.0	34,8
Sesquioxydes solubilisés	2,2	2,3	1.5	2,0
Humidité	1,5	1,8	2.8	1.0
Analyse chimique °/oo				
p H.	—	—	7,3	—
Azote total °/oo	—	—	0,50	—
$P^2 0^5$ total °/oo	—	—	0,92	—
$P^2 0^5$ assimilable °/oo	—	—	0,30	—
$K^2 0$ totale °/oo	—	—	3,65	—
$K^2 0$ assimilable °/oo.....	—	—	0,11	—

Si nous remontons maintenant sur l'autre flanc du vallon actuel, nous retrouvons une seconde dépression fossile entièrement comblée

par du lehm brun avec une couche noire très argileuse recouverte de lehm plus calcaire. Ce dernier passe latéralement à des sols d'érosion qui marquent la rive sud est du vallon.

En résumé, l'exploitation de la Briqueterie Charles Ihl à Hœnheim nous met en présence d'une série de sols constitués dans des dépressions de la Basse-Terrasse au-dessous du niveau supérieur du plateau, lui-même caractérisé comme nous l'avons vu par un sol de lehm éluvial totalement décalcifié et partiellement lessivé en argile. Nous avons à faire ici :

1° à des sols d'érosion sur les pentes, sols de lœss calcaire peu évolués ;

2° à des sols de lehms colluviaux, entièrement décalcifiés, ayant comblé des dépressions de la surface supérieure, ou des fonds de vallons anciens, aujourd'hui topographiquement disparus ;

3° à des sols de lehms colluviaux et éluviaux, non totalement décalcifiés, s'étendant soit à la surface des lehms colluviaux précédents, soit dans des vallons d'érosion plus récents, plus profondément creusés dans la masse de lœss de la Basse-Terrasse, et encore topographiquement visibles aujourd'hui ;

4° à des sols de lœss calcaire remanié récents, sous forme de dépôts colluviaux de fonds de vallons actuels, ayant enterré et fossilé les sols de lehms précédents.

Quant à la masse de lœss dans laquelle sont creusés ces vallonnements, elle paraît être partagée en 2 par l'existence d'un sol ancien, aujourd'hui partiellement érodé, mais encore marqué par une ligne de poupées très caractéristiques.

Descendons le long de la pente générale qui nous rapproche, au pied du coteau, du niveau général de la plaine de l'Ill. La grande exploitation de la *Briqueterie et Tuilerie Alsacienne*, à Souffelweyersheim, sur la route d'Hœnheim à Reichstett, nous permet d'étudier la coupe du pied de terrasse sur une longueur d'environ 300 mètres (voir fig. 5).

La partie actuellement en exploitation dans la masse du coteau comporte une dizaine de mètres de lœss plus ou moins sableux jaunâtre, blanchissant vers le haut et portant en surface un sol d'érosion sur lœss calcaire très peu évolué. A sa base le lœss devient plus sableux, verdâtre avec rares poupées. Un sol peu apparent avec quelques traces de racines, surmonte l'horizon de poupées. Le coteau s'abaisse peu à peu vers le Nord, parallèlement à la route. On aperçoit un véritable rivage ancien de lœss en place, recouvert latéralement par du lœss marneux alluvionnaire fluviatile de couleur jaunâtre, nettement stratifié avec lits sableux très apparents. Cette masse *alluviale* fluviatile débute à sa base par un sable coquillier rougeâtre très grossier, reposant en transgression sur le lœss sableux inférieur. Cette masse marneuse stratifiée est recouverte à sa partie supérieure par un lehm

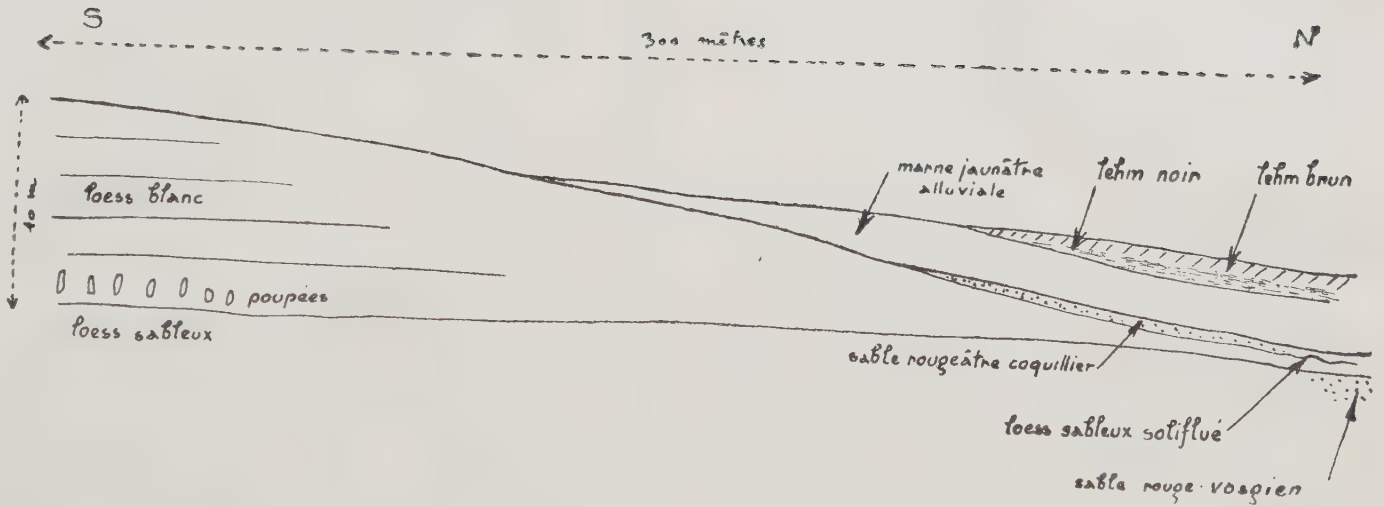


FIG. 5.

Coupe des Briqueteries Alsacienne et Lienhardt à Souffelweyersheim.

noir entièrement décalcifié, fortement argileux, non stratifié et nettement colluvial, c'est-à-dire formé par ruissellement et alluvionnement continental sur la pente.

Cet horizon de lehm noirâtre passe à sa partie supérieure à un lehm brun moins argileux, mais également décalcifié et d'aspect colluvial.

Le tableau IV permet de se rendre compte de la différence de composition de ces divers horizons. Il fait ressortir la similitude complète des deux lehms colluviaux de la Briqueterie Alsacienne, avec les deux lehms (lehm noir et lehm brun supérieur) du vallon fossile de la Briqueterie Ihl à Hœnheim (comparer tableau II).

Tableau IV.

SOLS DE LEHMS DE LA BRIQUETERIE ALSACIENNE A SOUFFELWEYERSHEIM.

ORIGINE	Marne jaune fluviatile	Lehm noir inférieur	Lehm brun supérieur
Analyse physique %			
Sable grossier (2 mm. à 0 mm. 2	0	0,1	0,3
Sable fin (0 mm. 2 à 0 mm. 02)	38,9	48,3	54,0
Limon (0 mm. 02 à 0 mm. 002)	18,0	19,0	20,0
Argile (inf. à 0 mm. 002)	21,6	27,0	21,7
Calcaire	15,8	0	0
Sesquioxydes solubilisés	3,5	1,3	1,3
Humidité	2,2	4,2	2,6
Analyse chimique °/oo			
pH.	—	7,1	7,15
Azote total °/oo	—	0,50	0,75
$P^2 0^5$ total °/oo	—	1,52	1,64
$P^2 0^5$ assimilable °/oo	—	0,36	0,44
$K^2 0$ totale °/oo	—	2,98	2,88
$K^2 0$ assimilable °/oo	—	0,09	0,09

L'exploitation de Mme Th. Lienhard prolonge vers le Nord celle de la Briqueterie Alsacienne et s'étend jusqu'au Canal de la Marne au Rhin. La coupe de cette exploitation présente en surface le même lehm brun, surmontant le lehm noir. Quelques débris de poterie ont été trouvés par moi dans le lehm noir de l'exploitation de Mme Lienhard, l'un d'eux présente une anse rudimentaire, formée d'un simple mamelon ; ce caractère joint à l'aspect de la poterie, a permis à L. G. Werner, Conservateur du Musée historique de Mulhouse, de l'attribuer au Néolithique (voir photo 6).

Nous avons vu que le sol de lehm brun d'Hœnheim pouvait, d'après les deux objets que j'y ai trouvés, être rapporté au début de l'âge des métaux, c'est-à-dire à l'Enéolithique ; or stratigraphiquement il est

immédiatement supérieur au lehm noir. Les trouvailles archéologiques effectuées à Hœnheim et à Souffelweyersheim sont donc parfaitement concordantes.

A la Briqueterie du Canal, le lehm noir repose sur du lœss fluviatile jaunâtre, qui lui-même s'étend à la surface d'un lœss sableux inférieur de couleur verdâtre, entremêlé de couches rougeâtres à aspect rubané et ondulé, caractéristiques d'un phénomène de solifluxion. Cette masse solifluée, qui prolonge le lœss sableux inférieur de l'exploitation voisine, repose sur des sables et graviers rouges vosgiens, très visibles à la base de l'exploitation actuelle.

Le lehm noir décalcifié s'étend fort loin dans la plaine au-dessous des alluvions modernes de l'Ill, nous l'avons retrouvé en particulier dans la petite glaisière située entre la route nationale de Lauterbourg et l'Ill, en face du Fort Ney (voir tableau V).

Tableau V.

SOL ET SOUS-SOL DE LA PLAINE DE L'ILL.
GLAISIÈRE EN FACE DU FORT NEY.

ORIGINE	Sol alluvial moderne	Sol alluvial ancien enterré
Analyse physique %		
Sable grossier (2 mm. à 0 mm. 2)	0	2,8
Sable fin (0 mm. 2 à 0 mm. 02).....	19,2	43,6
Limon (0 mm. 0 2à 0 mm. 002)	24,0	14,5
Argile (inf. à 0 mm 002.)	30,0	35,0
Calcaire	20,3	—
Sesquioxydes solubilisés	3,7	1,0
Humidité	2,8	3,1

Nous observons là (photo 7, planche III) une couche alluviale moderne superficielle fortement calcaire et argileuse, reposant sur un sous-sol de lehm noir entièrement décalcifié, très argileux, et à structure parallélépipédique particulièrement nette. Ce lehm noir contient un peu de sable grossier siliceux blanc, donc d'origine rhénane probable.

Si maintenant nous nous rapprochons de la limite Sud de la Basse-Terrasse de Schiltigheim nous trouvons d'abord, au Nord même de Schiltigheim, vers l'Erbsenbuckel, une région de hauteurs dont les sols sont fortement érodés. Les sols y sont pour la plupart des sols d'érosion calcaires formés directement par le lœss faiblement décalcifié.

L'exploitation des *Tuileries Réunies du Bas-Rhin*, à Schiltigheim, à l'ouest de la route de Brumath, est adossée au coteau, face au sud. L'extrémité Nord de la carrière permet d'apercevoir à la surface un reste de sol de *lehm éluvial* avec horizon A plus clair et horizon B

illuvial rouge argileux; c'est un reste de sol de plateau analogue à celui de la Souffel, mais il disparaît rapidement en direction du bord du coteau où le sol actuel est directement formé par le lœss calcaire. Mais cette carrière présente un autre intérêt, c'est que le fond actuel de l'exploitation atteint une couche de lœss sableux d'un bleu verdâtre très nettement soliflué, avec zones rubanées et noyaux rougeâtres.

La même couche de lœss sableux inférieur soliflué se retrouve encore dans une autre exploitation située plus au Sud, sur le flanc Nord de la vallée de la Bruche, à la *Maison Rouge*, à Eckbolsheim. Cette carrière permet d'apercevoir de bas en haut :

1° lœss calcaire de remaniement en surface contenant des cailloux roulés et sur lequel est établie la route nationale de Strasboueg à Paris,

2° sol enterré de lehm presque totalement décalcifié (tableau VI) avec, au-dessous, ligne de petites poupées calcaires (voir photo 8, planche III),

3° épaisse couche de lœss calcaire, assez sableux,

4° couche de lœss sableux soliflué avec sections rubanées verdâtres et rougeâtres,

5° graviers de la Bruche (graviers vosgiens rouges).

Ce sol de lehm, non différencié verticalement et enterré sous du lœss calcaire de remaniement sur les pentes, est voisin comme position stratigraphique, comme composition et comme structure pédologique, du sol enterré du fond du vallon de la Briqueterie Ihl à Hœnheim que nous avons précédemment étudié.

TABLEAU VI.

SOLS FOSSILES DE LA BASSE-TERRASSE.

ORIGINE	Eckbolsheim Briqueterie de la Maison Rouge	Achenheim Briqueterie Coopérative	
	sol de lehm enterré	lœss inférieur	sol séparant les lœss inf. et sup.
Analyse physique %			
Sable gross. (2 mm. à 0 mm. 2)	0,3	0	0
Sable fin (0 mm. 2 à 0 mm. 02)	43,8	33,5	31,1
Limon (0 mm. 02 à 0 mm. 002)	28,3	29,7	28,2
Argile (inf. à 0 mm. 002) .	22,5	19,7	27,5
Calcaire	0,2	12,7	8,5
Sesquioxydes solubilisés ..	2,0	1,9	1,1
Humidité	2,9	2,5	3,6

Si nous nous rapprochons, vers l'Ouest, de la falaise formée par la Moyenne-Terrasse, nous trouvons une dernière carrière de lœss sur la Basse-Terrasse, à l'Est du village d'Achenheim, à la *Briqueterie Coopérative* (ancienne exploitation Schaefer).

Sur la face Est de la carrière, actuellement en exploitation, de 7 mètres de hauteur environ, le lœss se trouve nettement séparé en 2 couches, lœss supérieur et lœss inférieur, par un sol de végétation,

avec traces de racines et décalcification superficielle assez avancée qui ramène le taux de calcaire à 8,5 % seulement. Ce sol, de couleur brunâtre, surmonte un lit de poupées de taille moyenne, rappelant celles observées à Hœnheim au voisinage du fond de la carrière, à la base du principal escarpement de lœss. L'érosion paraît avoir été moins active ici qu'à Hœnheim ce qui a permis au sol séparant les deux lœss d'être mieux conservé. Notons aussi que le lœss inférieur est ici beaucoup *plus fin*, moins sableux que les lœss inférieurs, assez grossiers, observés plus à l'est vers le fleuve. Nous avons à faire ici, en bordure de coteau, à un lœss à caractère plus nettement éolien, plus argileux et moins sableux que les lœss fluviatiles.

Le lœss supérieur, dans sa partie située immédiatement au-dessus de la limite des deux lœss, est très fossilifère : un ouvrier nous a remis une belle mollaire d'*Elephas primigenius*. De nombreux ossements et dents d'éléphant de cette même espèce ont été recueillis au même endroit par P. Wernert ; le cheval y est également abondant. Dans le lœss supérieur, on observe quelques trace assez peu apparentes de solifluxion. De rares éclats taillés monstiériens se trouvent dans la masse inférieure des lœss.

A la surface du lœss, nous observons presque partout un sol jeune d'érosion, fortement calcaire. On aperçoit cependant, vers la droite de la coupe, un ancien vallon comblé par du lehm, avec couche de lehm noir enterré caractéristique. Des fonds de cabane, visibles en surface dans la coupe, ont fourni des pièces diverses d'âge néolithique.

Une autre section de vallon comblé par le lehm est visible sur la face ouest de l'exploitation, aujourd'hui abandonnée ; au voisinage de la base du mur de lœss de cette face existe une excavation assez vaste permettant d'apercevoir les sables rouges de la Bruche sur lesquels repose le lœss inférieur.

Résumons maintenant les observations faites sur la constitution de la terrasse de Schiltigheim et voyons quelle a dû être dans le cours des âges son évolution morphologique. La masse de cette terrasse est constituée par deux assises de lœss récents, à caractère fluviatile vers le bas, devenant plus ou moins éolien à la partie supérieure ainsi qu'au voisinage de la Moyenne-Terrasse. Le lœss inférieur est séparé du lœss supérieur par un sol de végétation, éluvial, incomplètement décalcifié, surmontant un lit de poupées de taille moyenne, qui constitue un horizon calcaire illuvial caractéristique. Ce sol ne s'est conservé intégralement qu'au voisinage de la Moyenne-Terrasse, partout ailleurs il a été plus ou moins érodé, et n'est souvent représenté que par son lit de poupées sous-jacent, dernier témoin du sol disparu. Ce sol éluvial est lui-même le témoin d'une période d'humidité climatique relative, comprise entre deux périodes plus sèches à climat froid subdésertique. Dans les parties les plus basses de la terrasse, nous voyons le lœss inférieur présenter un faciès nettement soliflué, la solifluxion s'étendant à la surface des graviers et sables vosgiens dont les éléments se mélangent au lœss charrié par la solifluxion.

La surface supérieure de la Basse-Terrasse paraît avoir eu initialement un relief assez différent du relief actuel, peut-être un relief dunaire, en raison de l'origine éolienne du lœss supérieur et du climat très sec qui a permis son dépôt. Une période *fortement humide* a suivi cette période de dépôt du lœss. D'où décalcification supérieure du lœss, avec formation de beaux *sols éluviaux* décalcifiés et faiblement podzoliques, de lehm à la surface du plateau (La Souffel), de *sols colluviaux* de lehm remanié dans les dépressions primitives (Hœnheim) et *d'alluvions fluviatiles lœssiques* plus ou moins marneuses au débouché des thalwegs dans la plaine (Briqueterie Alsacienne à Souffelweyersheim).

Une dessiccation très nette du climat est venue mettre fin à cet alluvionnement fluviatile. Des sols colluviaux très argileux de couleur noirâtre se sont constitués dans le fond des dépressions encore incomplètement comblées et ont peu à peu débordé à la surface des alluvions fluviatiles de la période précédente, jusque dans la basse plaine. C'est la période néolithique. Elle a été suivie d'une certaine reprise de la pluviosité qui a achevé le comblement par le lehm des anciennes dépressions, et a formé, sur les pentes douces et dans les nouveaux thalwegs constitués par l'érosion ascendante, des sols bruns éluviaux de lehm presque complètement décalcifié avec niveau sous-jacent de petites poupées illuviales. Cette période plus humide correspond, au point de vue archéologique, à l'Énéolithique.

Une nouvelle dessiccation du climat atransformé en vallées mortes, les vallons d'érosion creusés précédemment dans la masse de la terrasse. Des éboulis de lœss, provenant des pentes et des barrages formés par le lœss entraîné sur une certaine distance au fond des thalwegs par les eaux d'orage, ont peu à peu transformé les vallons à pente continue en une suite de dépressions fermées, sans écoulement, phénomène particulièrement visible sur la carte de Schiltigheim au 1/20.000 du Service Géographique de l'Armée. Ces dépressions fermées s'allongent en particulier le long d'un ancien vallon Est-Ouest qui, partant de Hœnheim, traverse la gare de triage et se divise ensuite en deux branches, formant fourche, l'une au Sud en direction de Mittelhausbergen, l'autre se dirigeant vers la région Nord de Niederhausbergen. Ces deux branches n'ont pas atteint par érosion ascendante le pied du coteau de la Moyenne-Terrasse. Une autre vallée morte paraît avoir longé le pied de celle-ci, prenant sa source au Sud de Niederhausbergen et se dirigeant vers le Nord pour se jeter dans la Souffel à Mundolsheim. Elle semble avoir été coupée entre Mundolsheim et Niederhausbergen, par des dépôts de bas de pente descendus de la Moyenne-Terrasse. Une mare artificielle « la Schwemme » recueille les eaux de la dépression fermée qui existe au Nord de Niederhausbergen (photo 9, planche III).

L'existence de ces vallées mortes, avec dépressions fermées, résulte de la tendance climatique actuelle nettement continentale, quoique nous soyons encore loin du climat steppique subdésertique qui a vu se déposer les lœss de nos terrasses alluviales ; nous assistons donc actuellement à un dessèchement progressif de la plaine alsacienne.

Chapitre IV

LA BASSE-TERRASSE DE LINGOLSHEIM

La Basse-Terrasse de Lingolsheim est un plateau d'altitude uniforme (150 mètres au Nord d'Entzheim, 147 mètres vers Lingolsheim) limité au Nord par la vallée actuelle de la Bruche, qui le sépare de la Basse-Terrasse de Schiltigheim, au Sud par un ancien bras mort de la Bruche qui l'isole de la ligne des coteaux de Geispolsheim, qui eux aussi culminent à 150 mètres au « Rebenkreutz » et représentent par conséquent le prolongement vers le Sud de la même Basse-Terrasse.

La surface du plateau de Lingolsheim est beaucoup plus uniforme, moins morcelée que celle de la terrasse de Schiltigheim, aussi a-t-on pu l'utiliser pour l'établissement d'un aérodrome, placé au nord d'Entzheim. La faible action de l'érosion sur ce plateau est due à la constitution de la masse même de la terrasse, essentiellement différente à Lingolsheim de ce qu'elle est à Schiltigheim. Nous avons vu qu'à Schiltigheim, la masse de la terrasse est tout entière constituée par des lœss plus ou moins sableux, qui ne présentent qu'une très faible résistance à l'érosion par les eaux courantes, et que durant des périodes pluvieuses postérieures au dépôt des lœss, il y a eu creusement de vallons d'érosion, dont le plan de base est le fond de vallée de l'Ill.

A Lingolsheim, au contraire, la masse principale de la terrasse est constituée par des graviers grossiers de la Bruche. Cette portion de terrasse est en réalité le cône de déjection torrentiel de la Bruche, dont s'est conservée la forme triangulaire caractéristique. Or, ces graviers grossiers présentent une résistance assez forte à l'érosion : de plus la nature très grossière et poreuse de ces alluvions permet une absorption rapide des eaux de pluie par le sol et réduit considérablement l'activité des phénomènes de ruissellement superficiel.

Ce plateau horizontal, dont la masse est formée de graviers rouges de la Bruche, porte une faible couverture de lœss sableux, qui, avec son lehm de décalcification superficiel, ne dépasse guère nulle part deux mètres d'épaisseur. Comme nous pouvions nous y attendre, ce plateau horizontal, peu soumis à l'érosion, a permis le développement superficiel d'un très beau sol éluvial de lehm décalcifié, partiellement lessivé en surface de son argile, et analogue au sol éluvial du plateau lœssique décrit, à la même altitude, sur la Terrasse de Schiltigheim, à la Briqueterie de la Souffel.

Je donne (tableaux VII et VIII) deux exemples de ces sols de lehm illuvial, l'un pris à la *Sablière Moderne*, située à la sortie Sud-Ouest de Lingolsheim, sur la route Nationale en direction d'Entzheim, l'autre vers le sommet Ouest du delta, dans la gravière située au bord de la route d'Entzheim à Hangenbieten, à 200 mètres au Sud de la gare d'Entzheim.

A la *Sablière Moderne*, à Lingolsheim, nous observons en surface environ 1 mètre de lehm brun entièrement décalcifié dont la partie superficielle est brun noirâtre, la partie profonde plus rouge et très fissurée par des fentes de retrait verticales, ce qui indique une richesse en argile plus élevée.

Au-dessous, 0 m. 70 de lœss calcaire blanc et concrétionné vers le haut, avec de petites poupées (2 à 5 cm.) le lœss devient plus rougeâtre vers le bas et passe au-dessous à du sable rouge de la Bruche fortement envahi par de fines canalicules blanchâtres de calcite concrétionnée descendant du lœss supérieur. L'ensemble repose sur 8 mètres de graviers de la Bruche actuellement en exploitation.

Tableau VII.

SOL DE LEHM.
SABLIÈRE MODERNE A LINGOLSHEIM.

ORIGINE PROFONDEUR	Sol superficiel A 0 à 0 m. 20	Sous-sol argileux B jusqu'à 1 m. 10	Lœss blanchâtre C^1 de 1 m. 10 à 1 m. 40	Lœss jaunâtre C^2 de 1 m. 40 à 1 m. 80
Analyse physique				
Sable grossier (2 mm. à 0,2)	7,9	6,6	7,1	15,0
Sable fin (0,2 à 0,02)	47,5	41,7	35,0	36,0
Limon (0,02 à 0,002).....	22,0	20,0	15,5	12,0
Argile (inf. à 0,002)	19,0	28,7	14,0	8,5
Calcaire	0	0	21,0	23,1
Sesquioxydes solubilisés	1,2	1,5	6,0	4,5
Humidite	2,3	3,4	1,4	0,8
Analyse chimique				
pH.....	6,85	7,2	7,4	7,7
Azote total °/oo.....	1,35	0,55	0,35	0,15
$P^2 0^5$ total °/oo	1,24	1,35	2,32	1,08
$P^2 0^5$ assimilable °/oo	0,49	0,35	1,84	0,71
$K^2 0$ totale °/oo	1,56	3.62	2,13	1,44
$K^2 0$ assimilable °/oo	0,12	0,12	0,05	0,10

L'analyse (tableau VII) indique un lœss fortement mêlé de sable grossier (sable rouge de la Bruche) la teneur en sable grossier s'accentuant avec la profondeur, en même temps que baisse la teneur en argile. Il semble donc que nous soyons en présence d'un lœss d'origine éolienne se déposant dans un cours d'eau devenant de moins en moins torrentiel ou tout au moins dont le cours, très impétueux au début (graviers

grossiers), se ralentit peu à peu (sables rouges), au point qu'à la fin l'apport de lœss éolien tombant dans le cours d'eau l'emporte largement sur les rares sables grossiers encore amenés de l'amont par les eaux vosgiennes. Le passage des alluvions grossières au lœss sableux supérieur nous fait donc assister au dessèchement progressif du climat général, durant la période de dépôt du lœss de surface du delta ancien de la Bruche.

A cette période de dessèchement a succédé une nouvelle période humide, dans laquelle nous n'assistons plus à la formation de dépôt *alluvial*, mais à celle d'un sol *éluvial* ; le lehm superficiel. Ce dernier a subi un double phénomène éluvial : dissolution du calcaire (les horizons A et B en sont également dépourvus), et acidification superficielle, puis lessivage partiel en argile de A, avec enrichissement correspondant en B. Nous trouvons en effet 19 % d'argile en A (horizon éluvial pour l'argile), 28,7 % d'argile en B (horizon illuvial pour l'argile).

Notons, pour l'analyse chimique, que l'horizon A est nettement éluvial pour la potasse, l'horizon B argileux étant au contraire illuvial pour cet élément, dont la teneur est plus que doublée par rapport à A.

L'acide phosphorique paraît ici avoir subi une migration plus lointaine, c'est surtout le lœss blanchâtre concrétionné C_1, qui marque un enrichissement très net en P^2O^5. Parallèlement notons l'enrichissement considérable et anormal (6 %) de cet horizon concrétionné, en sesquioxydes (de fer et d'alumine), solubilisés lors de l'analyse et précipitables par l'ammoniaque.

La présence dans les lœss d'Alsace d'alumine très facilement soluble aux acides dilués et qui donne un gros précipité gélatineux lors de la précipitation par l'ammoniaque, est due à l'existence de très fins éléments micacés, très facilement décomposables par les eaux de pluie sous un climat humide, mais restés intacts dans le lœss, qui est essentiellement un dépôt éolien de climat très sec, steppique ou subdésertique. Cette alumine, si facilement attaquable et uniformément répartie dans la masse, joue, semble-t-il, un rôle considérable dans la confection des briques à partir du lœss alsacien ; le lœss à première vue, avec sa teneur en carbonate de chaux dépassant fréquemment 20 % et sa faible teneur en argile semblerait être un matériau très peu fait pour la fabrication de briques de qualité. Le lœss éolien, le plus riche en poussières micacées fines et légères, est d'ailleurs nettement préféré au lœss sableux grossier pour la confection des briques.

Le sol de lehm évolué sur lœss calcaire de la *sablière de la gare d'Entzheim* présente un horizon superficiel éluvial de 0 m. 60 d'épaisseur environ de lehm brun assez clair, entièrement décalcifié, à structure grumeleuse, et même légèrement schisteuse, ce qui indique le lessivage en argile et le caractère « battant » du sol. Au-dessous, de 0 m. 60 à 1 m. 00 de profondeur, lehm rouge fortement argileux fendillé, à structure prismatique caractéristique. Ce lehm entièrement décalcifié

repose sur 0 m. 90 de lœss calcaire contenant de petites poupées calcaires, et reposant lui-même sur les graviers rouges de la Bruche.

L'analyse (tableau VIII) indique un lessivage en argile de l'horizon A et un rechargement en argile de l'horizon B, où la teneur en argile est doublée par rapport à A (32,6 % contre 16,7).

Tableau VIII.

SOL DE LEHM SUR LŒSS.
SABLIÈRE DE LA GARE D'ENTZHEIM.

ORIGINE PROFONDEUR RORIZONS PÉDOLOGIQUES	Sol superficiel 0 à 0 m. 60 A	*Sous*-sol argileux 0 m. 60 à 1 m. B	Roche-mère 1 m. à 1 m. 90 C
Analyse physique %			
Sable grossier (2 mm. à 0,2 mm.) ..	5,1	2,2	1,9
Sable fin (0,2 à 0,02)	51,0	36,8	38,5
Limon (0,02 à 0,002).....	24,0	23,0	22,2
Argile (inf. à 0,002)	16,7	32,6	15,0
Calcaire	0	0	18,8
Sesquioxydes solubilisés	1,1	1,6	1,8
Humidité	2,0	3,8	1,7
Analyse chimique °/oo			
pH.....	7,1	7,2	7,4
Azote total °/oo	0,80	0,40	0,25
$P^2 0^5$ total °/oo	1,04	1,23	1,18
$P^2 0^5$ assimilable °/oo	0,28	0,25	0,63
$K^2 0$ totale °/oo	3,21	5,18	3,50
$K^2 0$ assimilable °/oo	0,17	0,20	0,12

Notons que le lœss lui-même est ici beaucoup plus fin que celui de Lingolsheim, sa plus haute teneur en argile et limon fin en font un produit plus richement éolien. Or nous sommes ici sur le sommet le plus élevé de la terrasse.

Pour se former une idée de la constitution de la masse alluviale totale qui forme le delta ancien de la Bruche, la coupe la plus caractéristique et la plus complète se trouve à la *Sablière Jean Schott*, située au Sud de Lingolsheim sur le bord Est de la route de Graffenstaden, en face de l'ouvrage Joffre-Lefèvre. Cette sablière permet d'apercevoir de haut en bas :

1° 1 mètre de *lehm* brun éluvial décalcifié,

2° 0 m. 40 de *lœss* blanc calcaire sans poupées,

3° 2 m. de *sables* et *graviers* vosgiens rouges stratifiés,

4° une couche rubanée, *solifluée*, d'épaisseur variable (0 m. 30 à 0 m. 40) de *lœss* verdâtre calcaire avec zones ondulées et noduleuses rougeâtres (voir photo 10, planche IV),

5° 3 mètres de sables et graviers vosgiens rouges stratifiés,

6° 0 m. 30 de *læss* calcaire verdâtre, non soliflué, mais contenant de petites poupées calcaires. Une plaque de poudingue très résistant de 5 cm. d'épaisseur environ, à ciment calcaire et cailloutis vosgiens, surmonte cette couche de lœss et la sépare des cailloutis boulants rouges sus-jacents,

7° des *graviers rhénans* gris très grossiers forment le fond de la carrière actuelle ; ils contiennent une nappe phréatique et sont exploités sous l'eau à la drague. Une seconde couche de poudingue, plus épaisse (10 centimètres environ) à ciment calcaire et cailloutis rhénans, sépare le lœss précédent de ces cailloutis grossiers inférieurs. Il faut percer à la pioche cette couverture très résistante, pour permettre le travail ultérieur de la drague.

Nous avons par conséquent trois niveaux successifs (2, 4, 6) de lœss, plus ou moins sableux, séparés par deux niveaux de graviers grossiers de la Bruche (3-5), le lœss le plus bas reposant lui-même sur des graviers grossiers du Rhin (7). Notons que le niveau moyen de lœss, nettement soliflué, présente une apparence très voisine de celle de la couche de lœss soliflué que nous avons signalée en divers endroits, à la base de la Terrasse de Schiltigheim et au *contact des sables rouges vosgiens.*

La couche moyenne de lœss soliflué apparaît également encadrée dans la masse des alluvions vosgiennes, dans une petite carrière située à environ 1 km. au Sud de la précédente, à 100 mètres à l'ouest de la route de Graffenstaden et taillée dans le talus de la terrasse au-dessus de la plaine de l'Ill. L'épaisseur de la couche de lœss calcaire, verdi, avec inclusions rougeâtres solifluées, atteint ici près de 1 m. d'épaisseur, elle est encadrée entre deux couches de sables rouges avec petits cailloutis vosgiens dont la supérieure atteint 1 m. 20 d'épaisseur. Un lœss calcaire de 0 m. 50 d'épaisseur surmonte le tout portant un sol de lehm de décalcification de 0 m. 40 environ.

Notons qu'en nous écartant de l'axe du delta, nous observons ici un double phénomène : épaississement du lœss soliflué, diminution de l'épaisseur de la couche supérieure d'alluvions vosgiennes dont la nature est de moins en moins grossière. Or sur la rive nord du delta de la Bruche, à Eckbolsheim, le lœss soliflué repose également, nous l'avons vu, sur un sable rouge avec petits cailloutis. Ce n'est qu'au centre du delta, vers Lingolsheim, que le courant très violent permettait le dépôt de graviers grossiers et en couche épaisse.

A l'Ouest de Lingolsheim, sur la route d'Holtzheim, au Sud-Est du passage inférieur de la voie ferrée, une carrière de graviers vosgiens nous permet d'apercevoir la couche de lœss moyen soliflué dans toute sa splendeur. Mais ici l'érosion, en bordure de la vallée de la Bruche, a enlevé le gravier supérieur sur une partie au moins de la coupe et nous voyons du lœss blanc calcaire supérieur venir directement au contact du lœss moyen soliflué, dont il est nettement séparé par une surface d'érosion, particulièrement visible sur la photographie 11, planche IV.

J'ai groupé dans le tableau IX les analyses des 3 lœss du delta de la Bruche :

— le lœss inférieur prélevé au seul point où je l'ai rencontré : à la Sablière Schott de Lingolsheim où il est au contact des graviers du Rhin,

— le lœss moyen provenant de la belle couche soliflué de la Sablière du passage inférieur d'Holtzheim,

— le lœss supérieur de la Sablière Moderne à Lingolsheim.

Tableau IX.

LŒSS STRATIFIÉS DANS LES ALLUVIONS DU DELTA DE LA BRUCHE.

ORIGINE	Lœss infér. Sablière Schott Lingolsheim	Lœss moyen soliflué Sabl. du passage inf. d'Holtzheim	Lœss sup. Sabl. Moderne Lingolsheim
Analyse physique %			
Sable grossier	0,2	4,9	7,1
Sable fin	48,0	37,0	35,0
Limon	14,0	20,0	15,5
Argile	9,0	12,0	14,0
Calcaire	26,4	22,4	21,0
Sesquioxydes solubilisés	1,5	2,5	6,0
Humidité	0,9	1,2	1,4

Le *lœss inférieur*, qui repose sur les graviers rhénans, présente, par sa teinte blanche verdâtre, par l'absence de sable grossier de la Bruche, par sa richesse en sable fin et sa pauvreté relative en argile, tous les caractères d'un *lœss éolien pur*. Le *lœss moyen* qui se trouve à une altitude de 3 mètres supérieure à celle du lœss précédent, présente un enrichissement en sable grossier de la Bruche qui indique un dépôt éolien impur mêlé de sable alluvial vosgien. *Le lœss supérieur* présente un enrichissement en sable grossier, plus marqué encore.

Nous observons donc ici un vaste amoncellement de lœss, constituant la terrasse de Schiltigheim actuelle, qui paraît s'être accumulé jadis contre le flanc Nord du delta torrentiel de la Bruche; celui-ci voyait s'accroître ses dépôts de graviers surtout durant les périodes climatiques humides, à fort ruissellement, qui séparaient les périodes sèches de dépôt des lœss, pendant lesquelles cessait au contraire la formation des dépôts de graviers. La figure 6 rend compte de la disposition des dépôts successifs de graviers vosgiens et de lœss continentaux, dont l'accumulation alternante a constitué l'ensemble des terrasses de Schiltigheim et de Lingolsheim, les deux terrasses ayant été postérieurement séparées par le creusement de la vallée d'érosion de la Bruche actuelle.

M. Wernert a bien voulu me permettre d'étudier les trouvailles archéologiques et paléontologiques faites par lui dans les *graviers de la Terrasse de Lingolsheim*, en provenance de la région de Lingolsheim, Entzheim, Holtzheim. La matière première de tous les outils paléo-

lithiques trouvés paraît être tirée des graviers mêmes de la Bruche. Cette matière de qualité médiocre explique la rareté des bonnes pièces, nettement typiques, et l'aspect assez fruste de l'ensemble.

Une première industrie à assez grands éclats, bulbe, plan de frappe et d'éclatement, présente des pièces nettement roulées. Certaines pièces présentent la facture du *Levalloisien* typique.

Une autre industrie appartenant au *Paléolithique supérieur*, probablement à *l'Aurignacien*, présente au contraire des pièces fraîches non roulées.

La faune de mammifères comprend : *Elephas primigenius*, le renne, le bison, le cheval, le cerf.

J'ignore malheureusement la position originelle exacte de ces diverses trouvailles par rapport aux deux couches de graviers vosgiens que j'ai distinguées et qui sont séparées par le lœss moyen soliflué.

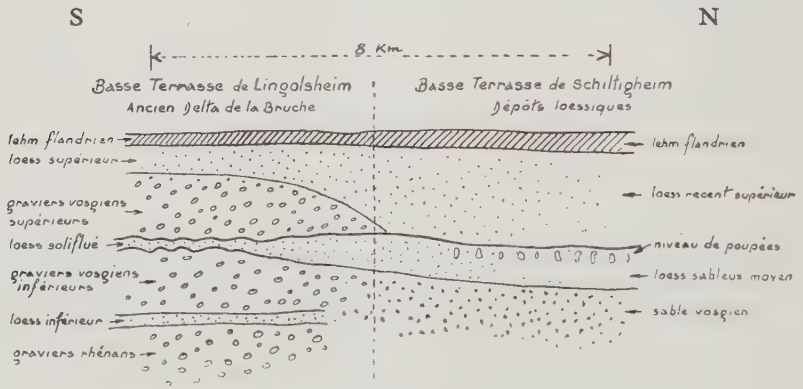


FIG. 6.

Relations théoriques des Basses-Terrasses de Lingolsheim et de Schiltigheim.

La présence de ces industries et de cette faune, en dehors de la réserve que je viens de formuler, paraît confirmer les relations réciproques des graviers de la Basse-Terrasse de Lingolsheim et des lœss de la Basse-Terrasse de Schiltigheim, situés de part et d'autre de la vallée actuelle de la Bruche.

Le creusement postérieur de cette vallée, a permis à des sols de lehms éluviaux secondaires de s'établir sur les pentes des lœss calcaires plus ou moins remaniés, qui forment le bord sud de la vallée. L'un de ces sols de lehm est visible dans la carrière de gravier située au Nord de la voie ferrée, sur la petite route de Lingolsheim à Wolfisheim, à la hauteur et en face du Fort Maréchal-Joffre. Nous observons là (photo 12) un sol de lehm brun décalcifié, surmontant un lœss calcaire avec lit de petites poupées, lœss établi lui-même à la surface de graviers de la Bruche. Des éboulis de lœss calcaire remanié sur

la pente recouvrent ce sol de lehm, dont l'âge relativement récent, est attesté par la présence de débris de poterie grossière. Nous sommes là en présence d'un sol brun éluvial fossilisé sur la pente Sud de la vallée de la Bruche, symétrique du sol de lehm brun fossilisé sur la pente Nord de la même vallée et précédemment décrit à Eckbolsheim.

Ces sols éluviaux de lehm brun, aujourd'hui enterrés, paraissent passer latéralement aux sols fortement lessivés que nous trouvons à la surface des graviers siliceux qui occupent une partie de la vallée actuelle de la Bruche, ainsi que l'ancien bras mort de cette rivière, au Sud de l'ancien delta, vers Entzheim (V 1 de la carte au 1/25.000).

On peut observer un beau profil de sol lessivé, sur ces graviers, dans la sablière qui se trouve au Nord de la route d'Holtzheim à Wolfisheim, entre la route et la rivière. Un horizon éluvial supérieur clair, nettement blanchi et podzolisé, recouvre un horizon illuvial rouge ocreux et très argileux, qui repose lui-même sur des sables et graviers vosgiens non différenciés. Un autre profil du même type de sol, un peu moins évolué cependant, existe dans l'ancienne sablière, formant aujourd'hui un étang, située au bord de la route d'Hangenbieten à 600 mètres au nord du village d'Entzheim. Le tableau X donne l'analyse des trois horizons A, B et C de ce profil et permet de se rendre compte de l'enrichissement en argile de l'horizon moyen illuvial B.

Tableau X.

SOL SUR ALLUVIONS DE LA BRUCHE.
BERGE D'ÉTANG — ROUTE D'ENTZHEIM A HANGENBIETEN.

ORIGINE HORIZONS	Sol superficiel A	Sous-sol argileux B	Sous-sol sableux C
Analyse physique			
Sable grossier (2 mm. à Omm. 2.)..	15,0	23,2	45,5
Sable fin (0,2 à 0,02)	44,9	33,8	27,7
Limon (0,02 à 0,002).....	22,2	17,5	10,6
Argile (inf. à 0,002)	15,5	21,7	15,0
Calcaire	—	—	—
Sesquioxydes solubilisés	1,0	1,7	1,0
Humidité	1,5	2,1	1,2
Analyse chimique °/oo			
pH.	7,1	6,7	6,75
Azote total °/oo	0,95	0,45	0,25
P^2O^5 total °/oo	0,95	1,11	0,63
P^2O^5 assim. °/oo.....	0,15	0,16	0,08
K^2O totale °/oo	2,30	3,00	2,11
K^2O assimil. °/oo	0,17	0,10	0,10

A une altitude encore inférieure, au voisinage même de la Bruche, ces sols relativement évolués disparaissent à leur tour et des graviers siliceux vosgiens non différenciés apparaissent en surface, simplement teintés par l'humus (voir une petite gravière immédiatement au Nord de la Station d'Entzheim, sur la route d'Hangenbieten).

Les graviers et sables de la Bruche ne sont d'ailleurs nullement localisés dans la vallée actuelle de cette rivière, ils ont jadis largement débordé à la surface des graviers rhénans, formant un véritable delta dans la région Nord de Strasbourg. Ces formations, aujourd'hui recouvertes par des produits de remaniement lœssiques descendus des coteaux voisins, ont été récemment étudiées et décrites par Ch. Gœner, P. Amiet et R. Forrer dans un article intitulé : « Les Palafittes préhistoriques à radeaux flottants et fixes de la Schiltigheimermatt à Strasbourg », paru dans les Cahiers d'Archéologie et d'Histoire d'Alsace 1935-36.

Il est indispensable que nous en disions quelques mots ici.

La partie inférieure de ces alluvions est constituée de sables et graviers grossiers de la Bruche contenant des bois de cervidés de grande taille. Ceci indique un climat franchement humide, avec fort courant d'eau dans la Bruche et végétation forestière puissante dans les environs.

Au-dessus apparaissent des tourbières qui indiquent l'arrêt preque complet du cours d'eau, donc une période climatique relativement sèche ; la tourbe contient un premier niveau de radeaux flottants à industrie néolithique. Une analyse pollinique due à G. Dubois indique que dans ces tourbières le pourcentage du coudrier passe de 40 % vers le bas à seulement 6 % vers le haut. De grosses crues charriant sables et graviers paraissent avoir détruit le village néolithique. De nouvelles habitations sur radeau flottant apparaissent à un niveau supérieur où la tourbe n'existe plus ; elles appartiennent à l'âge du bronze, et dans la partie supérieure à l'époque de Hallstatt.

Les deux périodes d'habitations des marais tourbeux du Nord de Strasbourg au Néolithique d'abord, puis à l'époque du Bronze correspondent sans doute à deux périodes relativement sèches pendant lesquelles ces marais n'étaient pas trop soumis à l'influence des crues de la Bruche. Elles seraient séparées par une période plus humide qui correspondrait à la destruction de la bourgade néolithique.

Les alluvions de l'Ill ne sont apparues que très tardivement dans la région strasbourgeoise. Au Néolithique, cette rivière rejoignait le Rhin bien en amont, dans la région d'Erstein, et c'est ce qui explique que les alluvions de la Bruche étaient, alors, à Strasbourg, directement au contact des alluvions rhénanes.

Dans le tableau suivant, nous donnons un résumé des observations faites dans les deux chapitres précédents. Nous avons cherché à mettre en relief les influences climatiques sous lesquelles ont pris naissance les diverses formations géologiques et pédologiques de la Basse-Terrasse et de la plaine voisine aux environs de Strasbourg.

SOLS, ALLUVIONS ET CLIMATS

des Basse-Terrasse et Basse-Plaine des environs de Strasbourg.

Périodes climatiques	Basse-Terrasse		Basse-Plaine
	Schiltigheim	Lingolsheim	
1° plus sèche .	sols d'érosion du lœss et éboulis lœssiques des fonds de vallons	alluvions modernes de la Bruche	alluvions modernes de l'Ill et de la Bruche
2° humide	lehm brun enterré de fond de vallon (Enéolithique)	lessivage du lehm brun de plateau et podzolisation des graviers de la Bruche sans lœss	alluvions supérieures de la Bruche
3° assez sèche .	lehm noir néolithique	—	tourbières néolitiques de la Schiltigheimermatt
4° humide	lehm brun de plateau et alluvions fluvio-lœssiques de Souffelweyersheim	formation du lehm brun de plateau et dépôt des alluvions anciennes de la Bruche sans lœss	alluvions profondes de la Bruche
5° très sèche et froide	lœss supérieur	lœss supérieur	—
6° humide	sol éluvial Briqueterie Coopérative Achenheim	Graviers supérieurs de la Bruche dans la Basse-Terrasse	alluvions rhénanes
7° très sèche et froide	lœss inférieur	lœss soliflué	—
8° humide	sable rouge vosgien	Graviers inférieurs de la Bruche dans la Basse-Terrasse	alluvions rhénanes
9° très sèche et froide	—	lœss inférieur de Lingolsheim	—
10° humide	—	Graviers du Rhin fond de carrière de Lingolsheim	alluvions rhénanes

Chapitre V

LA MOYENNE-TERRASSE D'ACHENHEIM

La Basse-Terrasse, que nous venons d'étudier dans les deux chapitres précédents, est dominée par une ligne continue de hauteurs dénommée souvent encore Haute-Terrasse, mais qu'avec V. Commont et G. Dubois, je désignerai comme *Moyenne-Terrasse*, ainsi que je l'ai indiqué au chapitre III, par comparaison avec le dispositif classique des terrasses des cours d'eau parisiens et picards. Cette ligne de hauteurs s'étend du Sud-Ouest au Nord-Est, de la vallée de la Bruche à Hangenbieten, à la vallée de la Souffel à Mundolsheim. Elle est divisée en plusieurs tronçons par de petites vallées d'érosion. Elle culmine à 209 mètres à Ernolsheim, 210 mètres à Breuschwickersheim, 184 mètres sur la crête détachée au nord de Mittelhausbergen.

Une première observation, qui s'impose, est l'extrême dissymétrie des versants de ces vallées secondaires. Le phénomène est déjà très apparent sur la carte topographique, les points culminants que nous signalons, tant à Ernolsheim qu'à Breuschwickersheim, sont tous deux au voisinage immédiat de la rive Nord d'une vallée ; le versant regardant vers le Sud est par conséquent très raide, le versant Nord étant au contraire à pente douce, faiblement inclinée. Le phénomène est tout aussi net au Sud de la Bruche, où la Moyenne-Terrasse culmine au Glöckelsberg à 198,5 m., dominant immédiatement le village de Blæsheim situé à son pied, dans la vallée Sud, alors qu'une pente très douce mène à Düppigheim, situé au Nord dans la vallée de la Bruche. Cette dissymétrie est encore plus apparente si on regarde la carte géologique au 1/25.000 de Geispolsheim. L'érosion intense des flancs Sud des coteaux, y met à nu le soubassement oligocène qui apparaît en vert, aussi bien à Blæsheim, qu'à Ernolsheim, et qu'au voisinage de Breuschwickersheim, alors que les pentes Nord sont largement couvertes par la teinte jaune clair du lœss récent et par les hachures du lehm.

Nous sommes là en présence d'un phénomène dont l'origine paraît être essentiellement climatique, nous pouvons donc le considérer comme un phénomène pédologique. Nous avons vu qu'en Alsace, les vents pluvieux sont les vents du Sud-Ouest, les vents secs, les vents du Nord-Est. Ce sont donc les côtes qui regardent face au Sud qui durant les périodes humides subiront intensément l'action ravinante des pluies ; durant les périodes sèches, ce sont elles qui recevront le moins de sédiments éoliens lœssiques. Les côtes regardant face au Nord, subiront durant les périodes humides une faible action érosive

et tendront à se couvrir de sols éluviaux, par suite du lessivage vertical sur place, ou de sols colluviaux, par entraînement mécanique dans le sens de la pente ; durant les périodes sèches elles recevront au maxi-

TABLEAU XI.

LŒSS ET LEHMS DE LA RÉGION D'ACHENHEIM.

Analyse physique %	Sable grossier	Sable fin	Limon	Argile	Calcaire	Sesqui-oxydes solubilisés	Humidité
Dimension des particules	2 mm. à 0,2.	0,2 à 0,02	0,02 à 0,002	> 0,002			
Plateau de Breuschwickersheim							
Lehm éluvial du plateau actuel (sol superficiel A)	1,0	51,6	26,0	18,0	0	1,2	2,1
Achenheim							
Carrière Hurst (front Ouest)							
Lehm brun colluvial supérieur	0,3	44,8	21,7	22,0	6,8	1,7	2,4
Lehm noir colluvial inférieur	0,6	40,9	21,7	27,7	4,6	1,4	2,9
Lehm de la petite terrasse .	0,7	41,0	23,3	20,3	10,6	1,5	2,6
Marne fluviatile	0	39,6	13,0	21,3	22,2	1,7	2,2
Lœss sableux inférieur soliflué	0	39,1	18,0	14,0	24,8	2,4	1,7
Carrière Hurst (front Sud)							
Lœss de surface	0	35,0	20,0	**17,2**	22,3	3,5	2,0
Lœss blanc.....	0,1	44,7	16,5	9,7	**25,4**	2,4	1,1
Lehm brun.....	0,3	46,0	27,0	21,0	2,5	1,0	2,2
Sol noir.... A_1... } grand	0,2	46,4	28,2	21,5	0	0,8	2,8
Sous-sol jaune. A_2. } lehm	0,1	48,0	29,0	19,5	0	1,0	2,4
Sous-sol rouge. B_1. }	0	37,8	25,2	**30,7**	0	1,7	4,5
Lœss blanc B_2	0,8	32,4	18,0	9,0	**34,3**	4,1	1,2
Lœss brun clair soliflué	0,2	35,0	23,5	13,0	23,4	2,5	2,4
Lœss clair	0,5	33,0	27,0	17,5	17,1	2,2	2,5
Lehm rouge A.....	0,7	35,7	24,0	**28,2**	6,1	1,3	4,0
Limon lœssique blanchâtre B (lœss anc. moyen)	0,5	29,0	15,0	15,0	**37,5**	1,5	1,7
Carrière Sundhauser							
Limon jaune (lœss anc. moyen)	1,7	29,3	21,0	25,0	16,8	2,9	3,1
Sol noir (surf. du lœss anc. inf.)	0,5	35,8	22,5	30,0	6,6	2,1	3,1
Limon brun (lœss anc. inf.) .	2,3	34,2	26,0	28,0	3,9	2,0	3,5
Sol brun colluvial inférieur...	3,9	39,0	23,0	29,0	0,5	1,5	3,1
Sol rouge de plateau à la surface de la marne	0,8	13,7	28,0	**48,0**	2,5	1,3	5,5
Sable du Rhin	0	64,0	7,0	6,5	18,1	3,7	0,7

mum l'apport des lœss éoliens. Elles tendront donc à s'empâter de plus en plus, leur pente superficielle allant en s'affaiblissant graduellement.

La partie supérieure des plateaux, ou tout au moins la pente douce regardant vers le Nord est ici, comme sur la Basse-Terrasse, occupée en partie par des lehms éluviaux décalcifiés, formés aux dépens du lœss récent sous-jacent. L'érosion étant assez intense sur la terrasse relativement étroite qui domine Hangenbieten-Achenheim, j'ai cherché un bon échantillon de sol constitué par ce lehm supérieur sur le plateau plus étendu et moins soumis à l'érosion, qui s'étend au Nord de Breuschwickersheim-Achenheim. On observe là un sol fin, brun, entièrement décalcifié, à structure grumeleuse, ressemblant beaucoup au sol de lehm du plateau de la Souffel. Au point de vue analyse (voir tableau XI) teneur en sable fin dépassant ici aussi 50 %, teneur en argile réduite à 18 % (à la Souffel : 17 % d'argile). Ce sol éluvial A repose sur un sous-sol de lehm argileux décalcifié fortement teinté, qui représente un horizon illuvial B, enrichi en argile. Au-dessous se trouve la roche-mère, constituée par un lœss calcaire éolien que nous allons étudier à Achenheim.

Les lœss et les lehms visibles à Achenheim, ont déjà fait, au point de vue pédologique, l'objet d'une étude rapide par le Professeur Agafonoff, à la suite de la visite que nous y avons faite ensemble en 1929 (voir : les sols de France au point de vue pédologique, par V. Agafonoff 1936, Dunod éd.) et d'une publication, très sommaire, par Ehrart dans son « Traité de Pédologie ».

Deux carrières retiendront notre attention : la carrière Hurst située en bordure du village d'Achenheim, sur la pente nord de l'éperon du plateau venant d'Hangenbieten, et la Carrière Sundhauser sur la pente sud-est du même éperon, pente qui domine directement la plaine et le canal de la Bruche (voir fig. 7).

Carrière Hurst.

Je tiens à remercier d'abord tout particulièrement M. Marcel Hurst qui a bien voulu m'aider pour le prélèvement des échantillons et les mesures à effectuer, travaux particulièrement délicats à mener à bien sur un front de carrière absolument vertical et atteignant douze mètres de hauteur.

Deux des fronts de taille de la Carrière Hurst sont particulièrement instructifs : le front de direction Nord-Sud qui limite l'exploitation principale vers l'Ouest, et le front Est-Ouest, adossé à l'exploitation Sundhauser, dont il n'est séparé que par un véritable mur, taillé verticalement dans le lœss et dont la crête porte un sentier ouvert au public.

Le front Ouest, perpendiculaire au thalweg du ruisseau d'Achenheim, voit, sur une longueur de 200 mètres le front de taille s'abaisser de 12 mètres, au fond de la carrière, à 3 mètres, au bord du talus qui

limite la petite plaine actuelle du ruisseau passant à Achenheim (voir fig. 8 et photo 13, planche V). Ce talus est constitué par du lehm brunâtre clair en surface, plus foncé, noirâtre en profondeur et d'aspect nettement colluvial, c'est-à-dire formé par alluvionnement continental en bas-fond ; ces deux lehms reposent à leur tour sur une marne jaunâtre, d'origine fluviatile, avec lits horizontaux de petites poupées

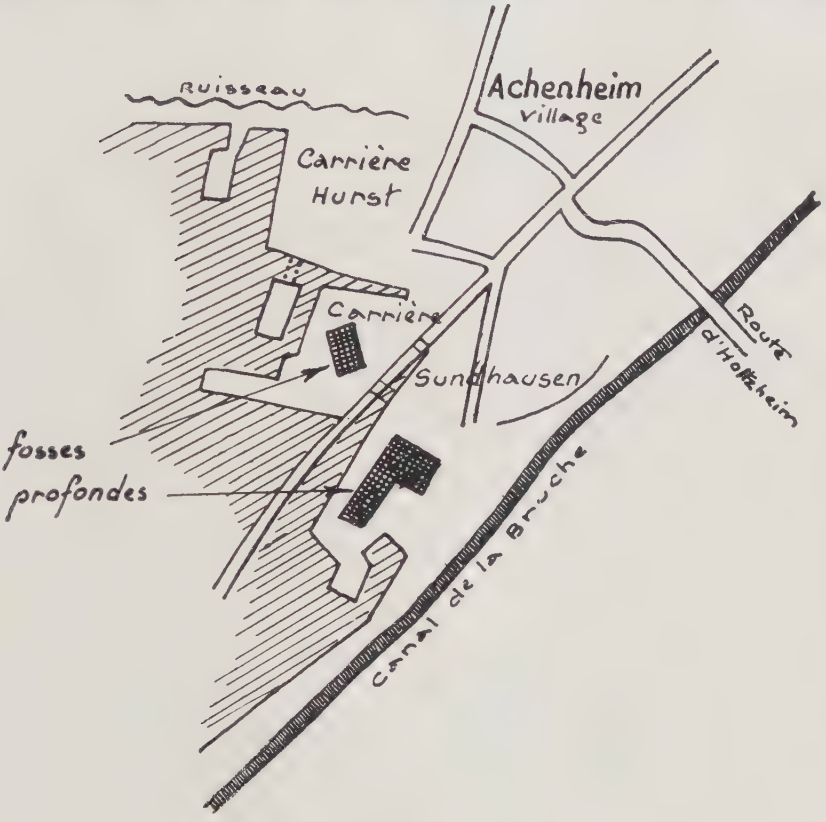


FIG. 7.
Plan des carrières Hurst et Sundhauser à Achenheim.

remaniées. Cet ensemble s'appuie latéralement sur une ancienne berge, creusée dans la masse du lœss blanc supérieur, jusqu'à la surface d'un lœss sableux verdâtre soliflué et ondulé. Dans ce vallon, creusé dans les lœss récents de la Moyenne-Terrasse d'Achenheim, nous sommes donc en présence d'un ensemble de formations alluviales et colluviales, reposant contre des lœss érodés en place et qui se trouve être l'équivalent exact de ce que nous avons observé au pied de la Basse-Terrasse de Schiltigheim, dans la vallée de la Souffel, à la Briqueterie Alsacienne à Souffelweyersheim.

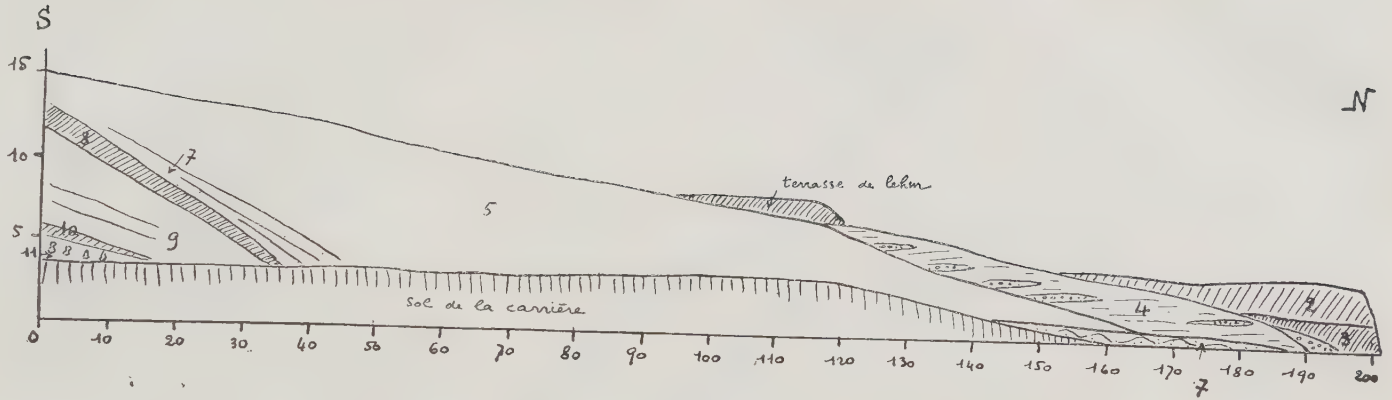


FIG. 8.

Carrière Hurst à Achenheim, paroi Ouest de l'exploitation, coupe N.-S. (mai 1936).

2 — lehm brun ;
3 — lehm noirâtre ;
4 — mame lœssique jaunâtre alluviale avec petites poupées remaniées ;
5 — lœss récent supérieur ;
7 — lœss sableux (soliflué vers le bas) ;
8 — grand lehm enterré ;
9 — lœss ancien supérieur de Schumacher ;
10 — lehm rouge ;
11 — lœss ancien moyen de Schumacher avec grandes poupées.

La marne fluviatile contient des deux côtés la même teneur en sable fin (39,6 et 38,9 %) et en argile (21,3 et 21,6 %). La marne d'Achenheim ne diffère guère de celle de Souffelweyersheim que par sa teneur en calcaire un peu plus élevée (22,2 contre 15,8). Cela tient peut-être à ce que, les pentes étant plus fortes sur la Moyenne-Terrasse et l'érosion plus intense, il y a un peu plus de lœss calcaire d'érosion mêlé au lehm dans la constitution de la marne fluviatile d'Achenheim.

Même observation au sujet des lehms noir et brun : le lehm inférieur noir contient 27,7 d'argile à Achenheim et 27,0 à Souffelweyersheim, le lehm supérieur brun clair : 22,0 contre 21,7. Mais les deux lehms colluviaux de la Moyenne-Terrasse sont incomplètement décalcifiés, alors que ceux de la Basse-Terrasse ne contiennent plus trace de calcaire.

On peut cependant conclure sans hésitation, qu'après le dépôt du lœss récent supérieur qui s'est étendu uniformément sur les deux terrasses, se sont succédées les mêmes périodes climatiques, qui, au point de vue pédologique, ont laissé les mêmes témoins :

une période très humide donnant naissance aux sols éluviaux de lehm sur les plateaux et aux sols alluviaux de marne jaune au fond des thalwegs ;

une période de dessiccation relative donnant naissance aux sols colluviaux de lehm noir argileux s'étendant en discordance sur les alluvions marneuses, enfin

une reprise de la pluviosité qui couvre les sols noirs d'une couche de lehm brun plus grossier.

Le sol de la petite plaine alluviale moderne, en contre bas du talus de lehm, est au contraire formé de lœss calcaire remanié.

Notons qu'au-dessus de la berge où s'arrêtent les alluvions marneuses, existe un sol de lehm brun formant une petite terrasse, qui aurait fourni des débris d'âge néolithique. Le lehm de la terrassette est nettement colluvial et assez fortement mélangé de lœss calcaire provenant de l'érosion de la pente qui le domine immédiatement (analyse tableau XI).

Cette pente est constituée par un sol d'érosion calcaire très peu évolué à la surface du lœss éolien blanc supérieur. Ce dernier est séparé du lœss inférieur plus sableux, par une ou deux petites couches étroites, mais assez régulières, de sable grossier rougeâtre. Quant au lœss sableux lui-même il forme un biseau incliné assez fortement dans le sens de la pente et se terminant en pointe vers le haut à la surface d'une couche de lehm argileux séparée en 2 horizons, l'un brun dans la partie supérieure, l'autre ocreux-rougeâtre dans sa partie inférieure. Contrairement à ce que l'on observe pour le lœss sableux qui le surmonte et qui forme un biseau dont la pointe est dirigée vers le haut, le lehm rouge brun forme au contraire un biseau dont la pointe est dirigée vers le bas.

Le lœss sableux est une formation surtout éolienne qui sous l'effet brutal du vent continental du Nord-Est est monté à l'assaut de la pente, son épaisseur diminuant avec l'altitude ; le lehm est au contraire une formation éluviale de plateau formée sous l'effet des pluies par lessivage à la surface du plateau supérieur, cette formation diminuant d'importance sur les pentes plus soumises à l'érosion.

Au-dessous du lehm, nous observons un second lœss blanc, éolien, passant vers le bas à un lœss brun clair avec traces très nettes de solifluxion ; ce lœss blanchit à nouveau avant de reposer sur une nouvelle couche de lehm, brun rougeâtre, encore légèrement inclinée dans le sens de la pente.

Ce lehm recouvre un produit lœssique jaunâtre contenant un lit de poupées assez grandes et irrégulières placées verticalement en un lit régulier parallèle au lehm rouge.

Nous allons retrouver ces différents niveaux sur le front Sud de la carrière (voir fig. 9 et photo 14, planche V) adossé au mur de lœss nous séparant de la carrière voisine et qui se trouve être perpendiculaire au pendage des couches, donc à l'ancienne pente du coteau.

Le sentier qui occupe le sommet du mur de lœss repose directement sur le lœss, par l'intermédiaire d'un sol d'érosion calcaire non différencié. Ceci est normal sur un éperon topographiquement aussi étroit que le promontoire dans lequel sont creusées ici les carrières de lœss, et dont la surface était soumise à un double érosion venant à la fois du Nord et du Sud-Est, du vallon d'Achenheim et de la pente de la vallée de la Bruche. Cependant sur la droite de la coupe, au-dessous du petit arbre visible sur la photographie commence à apparaître un sol de lehm brun, envoyant des prolongements irréguliers dans la masse du lœss blanc, sol de lehm qui se développe plus largement sur le plateau voisin.

Le lœss blanc supérieur présente des bandes de teinte légèrement jaunâtre ou grisâtre, assez visibles sur la photographie et qui, grossièrement horizontales, ne présentent pas moins de légères ondulations attribuables, semble-t-il, à la solifluxion. Le tableau XI montre la composition fortement calcaire (25,4 % CO^3Ca) et la richesse en sable fin de ce produit éolien. Notons de plus qu'ici, comme sur la Basse-Terrasse (voir tableau I, La Souffel), le lœss en surface a une finesse plus grande qu'en profondeur.

Lœss supérieur	La Souffel		Achenheim	
	partie haute	partie basse	partie haute	partie basse
Sable fin	39,4	48,8	35,0	44,7
Limon	18,7	18,0	20,0	16,5
Argile	16,0	9,0	17,2	9,7

L'intensité du vent qui a amené le lœss récent supérieur à la surface des deux terrasses (Moyenne et Basse-Terrasse) aurait donc

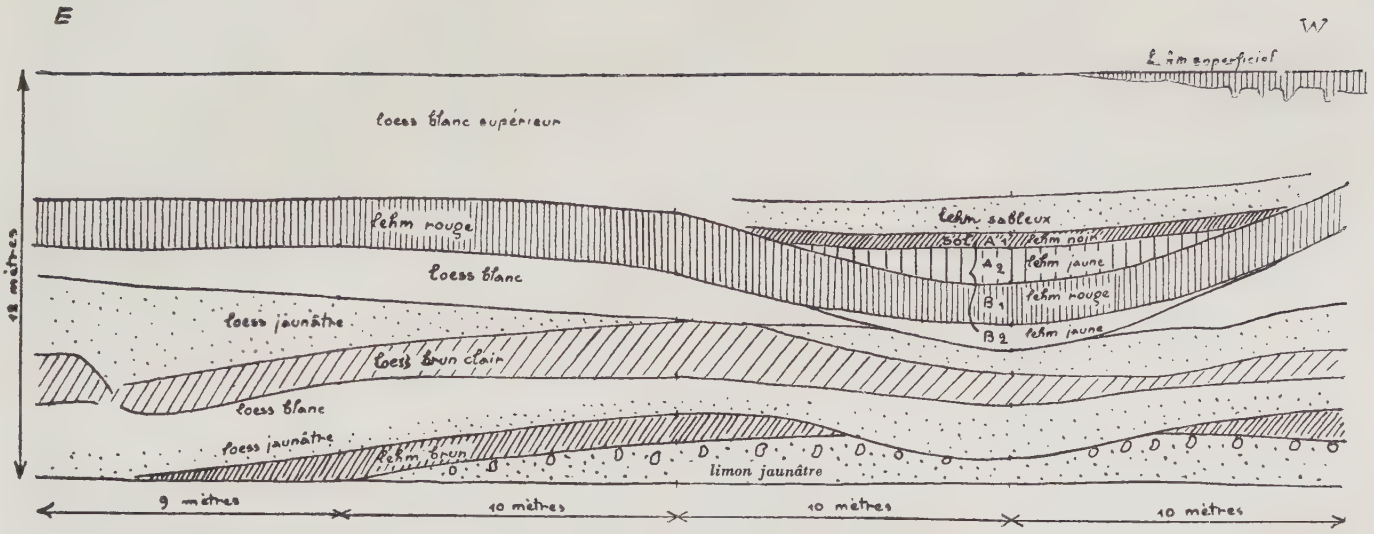


FIG. 9.

Carrière Hurst à Achenheim, paroi Sud de l'exploitation, mur de lœss séparant la carrière Hurst de la carrière Sundhauser (mai 1936).

été en diminuant durant cette période, ou peut-être l'humidité de l'atmosphère croissant du début à la fin de la période provoque-t-elle, par condensation, le dépôt de poussières de plus en plus ténues.

Le lœss supérieur repose directement ici sur la grande couche de lehm qui occupe le centre de la photographie 14. Ce lehm paraît avoir subi superficiellement, avant le dépôt du lœss supérieur une solifluxion assez apparente sur la partie droite de la poche de lœss, sur la photographie 14. Cette solifluxion est plus visible encore dans une petite carrière perpendiculaire au front que nous étudions en ce moment et à laquelle on accède par un tunnel situé à droite de la coupe représentée par notre photographie. Cette solifluxion paraît en rapport avec la solifluxion très importante du lœss sableux inférieur, si générale sur la Basse-Terrasse et également visible, ainsi que je le signalais tout à l'heure, au bas de la coupe du front Ouest de la carrière Hurst.

Nous pouvons donc admettre qu'entre le lœss supérieur et la poche de lehm sur laquelle il repose, existe une véritable *lacune stratigraphique* : le lœss sableux inférieur ayant été enlevé par une érosion due aux pluies ou plutôt à la solifluxion. Peut-être même ne s'est-il pas déposé du tout sur les sommets; nous avons vu qu'il apparaît peu à peu, sous forme de biseau à un niveau un peu inférieur dans la coupe latérale du front Ouest.

Etudions maintenant la grande poche de lehm qui paraît occuper ici une dépression ou plutôt le fond d'un vallonnement d'un plateau ancien, ce qui a valu à ce véritable sol-témoin d'être conservé, malgré l'érosion ou solifluxion intense qui a balayé ultérieurement la surface du plateau.

De haut en bas on observe dans ce sol de lehm les horizons suivants :

1° lehm brun, assez clair de structure granuleuse, riche en sable fin, assez riche en argile, et caractérisé par une faible teneur en calcaire, due à des infiltrations de calcaire concrétionné venant du lœss supérieur ;

2° lehm brun noirâtre de composition très voisine de celle du précédent, mais entièrement décalcifié représente l'ancien sol éluvial A_1 non modifié par infiltration calcaire subséquente ;

3° lehm brun jaunâtre de structure encore granuleuse, un peu plus lessivé en argile que le précédent constitue l'horizon podzolique éluvial A_2. clair, lessivé au maximum d'argile et de fer non teinté par le carbone d'origine humique comme le sol superficiel A_1 qui le recouvre ;

4° un lehm rouge ocreux, entièrement décalcifié à structure prismatique typique et fentes de retrait ; son analyse indique une teneur élevée en argile (30,7 % contre 19,5 dans l'horizon éluvial immédiatement supérieur). L'analyse et l'observation directe confirment le fait que nous sommes en présence d'un horizon illuvial d'enrichissement en argile et hydroxyde de fer ;

5° lœss blanc inférieur très riche en calcaire (34,3 % en CO^3CA). Cette richesse en calcaire indique, semble-t-il, un horizon d'enrichissement ou horizon illuvial pour le calcaire ; nous avions déjà observé le même phénomène (34,8 CO^3Ca %) sous un sol de lehm beaucoup moins ancien à la surface du lœss récent dans la grande carrière de Hœnheim (voir tableau III)[1].

---

[1] Cet enrichissement illuvial en calcaire *ne s'accompagne pas ici de la présence de poupées.* Je suis par conséquent surpris que dans la description que donne Erhart de ce sol (sol N° 5), cet auteur signale à ce niveau l'existence d'une couche illuviale de poupées atteignant la taille d'une tête d'enfant. Sans doute y-a-t-il là une confusion de sa part, les poupées étant localisées, à *Achenheim*, dans des couches plus anciennes et plus profondes.

En définitive, la grande couche de lehm de la carrière Hurst représente un sol brun légèrement podzolique, nettement lessivé, évolué à la surface d'un lœss calcaire durant une période de climat humide et tempéré froid, plus humide que le climat actuel de l'Alsace. Ce sol, d'allure forestière, présente une grande ressemblance avec les sols de lehm podzolique qui surmontent le lœss récent, tant à la surface de la Moyenne-Terrasse que de la Basse-Terrasse et que nous avons étudiés à Breuschwickersheim, à la Souffel, à Lingolsheim et à Entzheim. Ce sont là les sols forestiers typiques des deux grandes périodes pluvieuses qui ont encadré la période sèche semi-désertique qui a vu le dépôt des deux lœss récents des auteurs : lœss sablonneux inférieur et lœss récent supérieur, séparés eux-mêmes par une courte période pluvieuse, qui a donné naissance au sol faiblement décalcifié, à allure de tchernoziom, décrit plus haut sur la Basse-Terrasse à la Briqueterie Coopérative d'Achenheim (1).

J'insiste volontairement sur cette notion des *lœss récents*. Jusqu'ici, en effet, en raison de l'existence connue sur la terrasse inférieure de deux lœss seulement (le troisième lœss ou lœss inférieur de Lingolsheim, qui sépare les graviers vosgiens des graviers du Rhin, n'ayant encore jamais été signalé à ma connaissance) et de la coupure très importante que paraît apporter sur la Moyenne-Terrasse, à Achenheim, le grand lehm que nous venons de décrire, la plupart des auteurs et Schumacher en particulier, ont admis en Alsace l'existence de *deux lœss récents* seulement, surmontant à Achenheim *trois lœss anciens*. C'est sur cette classification que s'est appuyé P. Wernert pour le classement des faunes et de l'outillage paléolithique des lœss d'Achenheim, qu'il a si magistralement décrits au XIV^e^ Congrès Géologique International de Madrid, en 1926, sous le titre : La caractérisation faunistique du lœss ancien. Afin d'éviter toute confusion, je vais continuer la description de la coupe d'Achenheim en utilisant les termes classiques employés par Wernert ; ce n'est qu'après discussion complète des résultats pédologiques, archéologiques et faunistiques, que j'exposerai une classification qui me paraît plus rationnelle et plus conforme, je dois le dire, aux idées modernes sur l'évolution climatique du Quaternaire.

Reprenons par conséquent l'étude de la coupe d'Achenheim à l'endroit où nous l'avions laissée, c'est-à-dire au lœss sur lequel repose

---

(1) D'après la coupe générale des sols de lœss d'Alsace que donne Ehrart, dans son « Traité de pédologie », il semble bien qu'en raison de leurs caractères pédologiques très voisins, cet auteur ait confondu en un seul, les sols de lehms podzoliques des deux périodes pluvieuses qui encadrent, par en haut et par en bas, l'ensemble constitué par ces deux lœss récents. Il paraît ignorer l'existence des lehms dont la formation est postérieure au dépôt des lœss récents, lorsqu'il dit, à la page 153 de son traité, que depuis 30.000 ans que le lœss récent existe, il ne s'est formé à sa surface ni tchernoziome dégradé, ni braunerde !

le grand sol de lehm brun podzolique, qui, d'après les auteurs classiques, sépare les lœss récents des lœss anciens. Ce lehm repose sur un lœss que Wernert désigne sous le nom de *lœss ancien supérieur*. Ce lœss présente de haut en bas de grosses variations de teinte et de composition. Très blanc à sa partie supérieure, des zones brunes en forme de vagues l'envahissent irrégulièrement vers le milieu, alors que vers le bas, il présente à nouveau une teinte plus claire. Ces « vagues» onduleuses sont l'indice d'une solifluxion très intense ; elles sont particulièrement visibles sur la photographie N° 14. L'analyse des 3 échantillons prélevés dans les trois niveaux superposés de ce lœss nous indique une teneur en calcaire nettement croissante de bas en haut : 17,1. 23,4, 34,3 % en CO^3Ca ; la teneur en argile va au contraire en décroissant de bas en haut : 17,5, 13,0, 9,0 % nous retrouvons, en sens inverse, les chiffres de 17 % et de 9 % d'argile que nous avons observés tout à l'heure dans la partie haute et basse du lœss supérieur. Il semble qu'ici nous assistions par conséquent au phénomène inverse : vents faibles au début, apportant un lœss très fin, vents devenant de plus en plus violents au fur et à mesure que l'on s'élève. La teneur en sable fin varie ici assez peu, c'est la teneur croissante en calcaire qui compense la diminution de la teneur en argile. Cette teneur élevée en calcaire tient sans doute, en partie, à ce que la couche blanche supérieure est enrichie secondairement en CO^3Ca par le phénomène illuvial signalé plus haut, mais aussi à un phénomène de lente modification climatique, les vents plus violents de la fin de la période s'accompagnant d'une dessiccation du climat favorable à un enrichissement superficiel en calcaire, par un phénomène inverse du lessivage observé dans les horizons éluviaux sous climat humide.

Alors que dans le lœss supérieur, nous étions en présence d'un adoucissement progressif des conditions qui ont présidé au dépôt des lœss, nous sommes ici en présence d'une aggravation progressive de ces mêmes conditions climatiques.

Le lœss ancien supérieur est séparé du lœss ancien moyen par un *lehm rouge brun* différant nettement du lehm à profil podzolique que nous avons étudié plus haut.

Ici, pas d'horizons bien tranchés, le lehm présente un profil uniformément brun rougeâtre, l'analyse indique une teneur en sable fin curieusement voisine de celle des lœss précédents mais c'est encore les teneurs respectives en argile et en calcaire dont le rapport relatif s'exagère. Ce lehm est très argileux (28,2 %) presque autant que l'horizon illuvial du lehm podzolique supérieur, mais il reste encore calcaire (6,1 %) alors que le lehm podzolique était entièrement décalcifié. De plus, au-dessous de ce lehm rouge, existe une couche très régulière de poupées de formes contournées et souvent fourchues, donnant parfois l'impression d'occuper l'emplacement d'anciennes racines partant de la couche de lehm et s'enfonçant dans la couche

lœssique sous-jacente. Ce sol argileux rouge, non différencié verticalement et faiblement calcaire, avec fortes concrétions calcaires immédiatement sous-jacentes, rappelle certains sols méditerranéens. C'est un sol de climat chaud, à évaporation intense malgré une forte pluviosité ; d'où concrétions en sous-sol, décalcification partielle en surface. L'absence d'accumulation humique en surface et la présence du calcaire empêche la migration du fer et de l'argile, cette dernière restant coagulée par la présence des ions calciques. Cette couche de lehm est bien visible sur la photographie dans la partie inférieure gauche de la coupe ; puis se trouve interrompue, dans l'axe de l'ancien vallon, par un phénomène d'érosion très net. On la suit plus difficilement vers la droite où elle est érodée en certains points.

Ce lehm rouge repose sur le *lœss ancien moyen* de Wernert, qui débute par un limon lœssique blanchâtre très riche en calcaire, contenant le lit de poupées précédemment décrit. Nous retrouvons ici un chiffre très élevé de CO^3Ca : 37,5 %, normal dans un horizon illuvial aussi caractérisé. Par contre nous tombons à un chiffre de sable fin relativement bas (29,0 %) que nous n'avons jamais rencontré encore dans les lœss éoliens étudiés précédemment et dont la caractéristique est précisément la richesse en sable fin. La teneur en argile est bien supérieure à celle des lœss calcaires illuviaux : 15 % ici contre 10 % à Hœnheim (tableau III) et 9 % dans le lœss ancien supérieur. Si ce dépôt peut être encore considéré comme éolien, il s'est déposé dans des conditions de vent beaucoup plus modérées que les lœss supérieurs et peut-être est-il, pour une part, un dépôt colluvial de pente ; nous verrons en effet le caractère colluvial s'accentuer de plus en plus tout à l'heure.

Pour étudier commodément les couches plus profondes, il nous faut maintenant quitter la carrière Hurst et passer de l'autre côté du mur de lœss pour pénétrer dans *la carrière Sundhauser* (voir fig. 10).

Dans la partie la plus reculée de cette carrière, au delà du tunnel passant sous le chemin vicinal qui monte au plateau d'Hangenbieten, nous trouvons, en fond de décor, le grand mur de lœss qui sépare les deux exploitations Hurst et Sundhauser ; nous y reconnaissons, de haut en bas, le lœss récent supérieur, le grand vallonnement comblé par le lehm podzolique, le lœss ancien supérieur, le lehm rouge surmontant le niveau de poupées fourchues à la partie supérieure du lœss ancien moyen. Environ 2 mètres au-dessous de ce dernier, apparaît un second niveau de poupées, d'aspect absolument différent. Les poupées sont ici rondes, parfois en forme de deux sphères accouplées (voir photo 15, planche VI). Cet horizon de poupées apparaît vers 1 m. 50 de profondeur dans la fosse creusée depuis peu au-dessous de l'ancien sol d'exploitation de la carrière. Il remonte ensuite vers l'ouest,

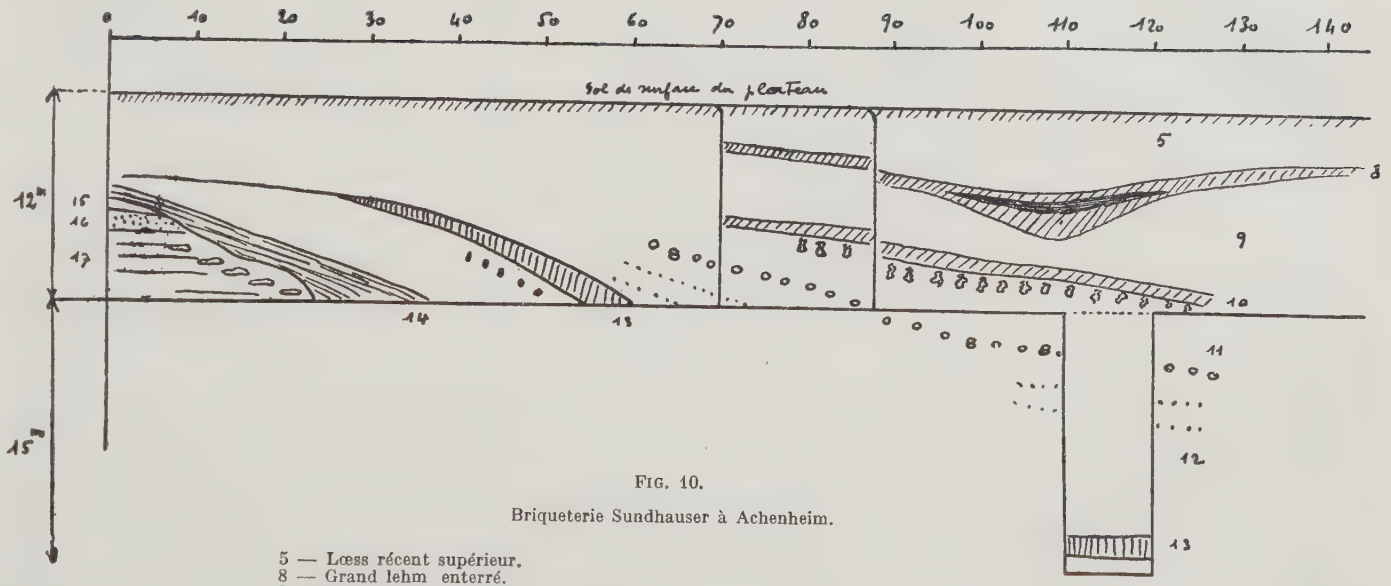


FIG. 10.

Briqueterie Sundhauser à Achenheim.

5 — Lœss récent supérieur.
8 — Grand lehm enterré.
9 — Lœss ancien supérieur de Schumacher.
10 — Lehm rouge.
11 — Lœss ancien moyen de Schumacher (partie supérieure)
12 — Lœss ancien moyen de Schumacher (partie inférieure)
13 — Lehm noir.
14 — Lœss ancien inférieur.
15 — Marne (avec forte solifluxion).
16 — Sables vosgiens rouges.
17 — Sables rhénans calcaires.

passe au niveau du sol à la hauteur du premier redan qui existe dans le mur de la carrière et atteint une hauteur de 2 m. au second redan. Il disparaît ensuite plus haut, en direction de l'ouest, comme d'ailleurs les sols de lehms supérieurs, enlevés, semble-t-il, par l'érosion qui a jadis décapité le sommet de l'ancien coteau.

Nous observons aujourd'hui le même phénomène pour les sols de lehm développés à la surface du lœss récent et qui font généralement défaut sur les sommets les plus élevés et sur les pentes, où ils sont remplacés par des sols calcaires d'érosion.

Au fur et à mesure que l'on descend dans la profondeur du lœss ancien moyen, on voit ce dernier prendre une teinte de plus en plus foncée et un caractère de plus en plus colluvial ; il s'appauvrit rapidement en calcaire, s'enrichit en argile et en limon, et de petits lits de produits de ruissellement y apparaissent. Deux lits de petits graviers calcaires sont particulièrement visibles dans la fouille principale respectivement à 1 m. 50 et 2 m. 70 au-dessous du lit de poupées rondes. Leur pente générale vers l'Est est voisine de celle des lits de poupées, et on les retrouve au-dessus du niveau du sol au voisinage du coin du second redan du mur de la carrière.

Le lœss ancien moyen est séparé du lœss ancien inférieur par une couche de limon *noirâtre* d'une épaisseur d'un mètre environ, plus foncé et un peu plus argileux que les limons voisins (voir photo 17, planche VII). Nous sommes là en présence d'un ancien sol de végétation, ne présentant qu'un seul horizon noir, mais ayant donné naissance à un niveau de petites poupées illuviales calcaires formant une ligne continue dans le lœss ancien inférieur à quelques 15 centimètres de la surface inférieure de l'horizon noir. Ce dernier est parcouru dans sa masse par des filaments de pseudo-mycélium de calcite très caractéristiques (1).

Ce sol noir de pente et de bas-fond paraît être le résultat d'un temps d'arrêt, de ralentissement, dans la période de pluviosité assez intense à laquelle est due l'alluvionnement colluvial considérable qui a donné naissance à la masse limoneuse dans laquelle il se trouve inclus. Au point de vue formation pédologique, on peut assez bien comparer ce sol au sol noir néolithique beaucoup plus récent inclus dans les lehms de comblement de la petite dépression fossile d'Hœnheim. A Achenheim, le phénomène est de plus vaste envergure : la dépression est une véritable petite vallée fossile, et les sédiments colluviaux y sont accumulés sur plus de 15 mètres d'épaisseur. Notons

(1) Ce sol qui est le sol N° 3 d'Erhart est qualifié de tchernoziom par cet auteur, en raison de sa teinte noire uniforme et de son pseudomycélium de calcite. Notons que la présence des petites poupées (photo 16 — C — planche VI), horizon illuvial inférieur annexé à ce sol, a échappé à Erhart.

pour compléter la comparaison, que les sédiments colluviaux supérieurs, avec traces de ruissellement graveleux assez intense, passent ici à des sols de plus en plus calcaires, d'abord noirâtres, puis de plus en plus clairs, indiquant une dessication très nette en fin de période, c'est un phénomène analogue que nous constatons actuellement dans les sols les plus récents de la plaine d'Alsace.

Le *læss ancien inférieur* est de plus en plus fortement décalcifié au fur et à mesure qu'on s'approche de sa base, sa teinte brune, foncée, s'accentuant de plus en plus.

A la base il ne contient plus que 0,5 % de calcaire, provenant d'ailleurs peut-être d'infiltrations venant de la masse supérieure.

Cette masse décalcifiée inférieure présente l'aspect d'un sol colluvial ayant ruisselé sur la pente en provenance du plateau voisin, ce sol colluvial étant annexé à un sol éluvial de plateau très fortement évolué. Ce dernier sol présente un horizon éluvial argileux rouge décalcifié (quoique secondairement recalcifié par les infiltrations partant du lœss qui le recouvre) et contenant des concrétions ferrugineuses noirâtres. Il s'est formé aux dépends d'une marne calcaire concrétionnée passant par place, en bord de plateau, à d'énormes poupées irrégulières, parfois plates lorsqu'elles se forment dans les couches de sables rhénans sous-jacents, et dépassant fréquemment 40 centimètres en largeur (voir photo 16, planche VI-d). Ce sol avec sa teinte rouge et sa richesse en argile et en fer concrétionné, présente, plus encore que le sol de lehm rougeâtre de la surface du lœss ancien moyen, les caractéristiques d'un sol de région pluvieuse chaude avec assez fortes variations d'humidité, provoquant la décalcification complète en surface avec solubilisation, puis reprécipitation locale de l'hydroxyde de fer, et apparition d'un niveau illuvial calcaire très important, non sans analogie avec les sous-sols de tufs calcaires de l'Afrique du Nord, eux aussi recouverts très fréquemment par des sols argileux rouges de décalcification.

Quant à la marne calcaire, elle a subi une très forte solifluxion qui la fait pénétrer profondément dans une couche peu épaisse de sable grossier rouge, d'origine vosgienne (photo 19, planche VIII).

Ce sable rouge repose à son tour sur une assise très puissante de sables rhénans, gris-jaunâtre, fins, à stratification fluviatile très marquée, qui forme la masse initiale de la Moyenne-Terrasse du Rhin dans laquelle se trouve creusé le vallon fossile étudié plus haut.

Pour résumer les observations pédologiques faites à Achenheim, je donne dans le tableau suivant d'une part les différents sols observés, d'autre part les conditions climatiques sous lesquelles leur évolution a dû se faire :

SUCCESSION DES SOLS ET CLIMATS A ACHENHEIM.

1° Sol alluvial actuel de lœss calcaire remanié	climat tempéré relativement sec
2° Sol de lehm brun supérieur	climat tempéré relativement humide
3° Sol de lehm noirâtre inférieur	climat assez sec
4° Alluvions marneuses jaunâtres Sol éluvial de lehm podzolisé des plateaux	climat très humide, grands ruissellements
5° lœss récent supérieur des auteurs, légèrement soliflué	climat désertique froid s'adoucissant peu à peu
6° Sol de tchernoziom (Briq. Coopérative)	climat continental assez humide (steppe herbeuse)
7° Lœss sableux récent inférieur fortement soliflué	climat désertique très froid
8° Grand lehm podzolisé à horizon A-B-C	climat humide et tempéré froid (forêt)
9° Lœss ancien supérieur des auteurs Lœss typique fortement soliflué	climat désertique devenant de plus en plus froid
10° Sol de lehm rouge surmontant un lit de grandes poupées	climat humide et chaud
11° Lœss ancien moyen des auteurs — partie supérieure	climat continental
12° Lœss ancien moyen des auteurs — partie inférieure	climat humide (ruissellements)
13° Sol de lehm noir	climat continental
14° Lœss ancien inférieur des auteurs	climat très humide et chaud
15° Marne fortement solifluée	climat sec et très froid
16° Sables rouges vosgiens	climat humide
17° Sables fluviatiles rhénans	climat humide

Afin de confirmer, par les méthodes classiques de la paléontologie et de la préhistoire, cette manière de voir basée jusqu'ici strictement sur mes observations pédologiques sur le terrain et les résultats de mes analyses, j'ai demandé à M. Wernert de bien vouloir me permettre d'étudier en détail les belles collections paléontologiques et archéologiques qu'il a recueillies, avec tant de patience et de soins éclairés, dans les diverses carrières d'Achenheim. Je l'en remercie une fois encore de tout cœur, ainsi que des renseignements encore inédits qu'il a bien voulu me communiquer.

Les sables fluviatiles rhénans inférieurs (17) auraient donné jadis une faune chaude assez archaïque signalée par Andreae, Schumacher, Freudenberg, Gignoux et Forrer : avec *Rhinoceros etruscus*, *Hippopotamus major*, *Cervus alces latifrons*.

Les sables rouges vosgiens (16) fortement soliflués et mélangés de marne (15) contiennent au contraire, d'après Andreae, une faune de mollusques de climat froid. Wernert y a trouvé comme vertébrés : *Rangifer tarandus* et *Canis lupus*. Ces animaux appartiennent nettement à une faune froide glaciaire.

Le sol éluvial de lehm rouge avec concrétions ferrugineuses, sol d'altération de la masse précédente, passe latéralement, nous l'avons

vu, au sol décalcifié colluvial qui constitue le lœss ancien inférieur (14). Pendant longtemps cette couche n'avait pas livré de restes de vertébrés ; ceci ne me surprend pas ; la forte décalcification subie par le sol durant cette période climatique chaude et humide, a dû provoquer la destruction éluviale de la majeure partie des ossements qui ont pu s'y trouver enfouis. Wernert signale cependant quelques rares trouvailles *Elephas* sp., *Equus*, un bois de chevreuil, ne donnant guère d'indications ; mais une belle mâchoire d'hyène paraît confirmer l'influence climatique méridionale. Phénomène très intéressant, tous ces débris (bois de chevreuil et mâchoire d'hyène en particulier) sont *fortement minéralisés, épigénisés par de la limonite* ; c'est celle-ci qui seule a assuré leur conservation; or, nous avons vu que le sol éluvial d'argile rouge, contemporain de cette formation colluviale de pente, était, lui aussi, riche en concrétions ferrugineuses.

L'industrie, qui accompagne ces ossements, appartient au Paléolithique inférieur ; ce sont des instruments assez frustes, en raison sans doute de la mauvaise matière première utilisée, empruntée aux cailloux de la Bruche ; taille grossière à éclat et plan de frappe non préparé.

Lorsqu'on se rapproche du sol de lehm noir (13) qui a dû se constituer, nous l'avons vu, durant une période plus sèche, provoquant un certain ralentissement de l'alluvionnement colluvial, la teinte du lœss ancien inférieur s'éclaircit et l'on y voit apparaître une faune de gros mollusques terrestres, *Helix pomatia*. La présence des coquilles calcaires fossilisées en pleine couche décalcifiée, s'explique par le fait que cet escargot a l'habitude de s'enfouir pour l'hivernage à profondeur assez grande. Ces Helix ont sans doute vécu à la surface du sol noir, bien en-dessous duquel nous les trouvons aujourd'hui. Or, cette espèce est caractéristique *des sols actuels* de la vallée du Rhin, il abonde en particulier dans les limons récents du Rhin dans la région de Mulhouse. Sa présence indique par conséquent un climat tempéré, assez sec, avec hivers suffisamment froids pour provoquer l'hivernage des *Helix* en profondeur. Donc la paléontologie confirme ici un refroidissement et une dessiccation du climat par rapport à la période précédente chaude et humide.

Au point de vue vertébrés, relevons *Elephas antiquus*, *Cervus elaphus*, *Meles taxus*, pas d'Hippopotames.

La décalcification subie par ce sol, et qui a donné naissance à la couche illuviale de petites poupées sous-jacentes, explique la faible abondance des ossements à ce niveau. Les coquilles d'*Helix pomatia*, enterrées à cette époque au-dessous de la couche illuviale à poupées calcaires, donc à l'abri de la décalcification, se sont au contraire très bien conservées.

Les concrétions signalées sur les os à ce niveau par Wernert, ne sont point calcaires, mais de nature argileuse.

L'industrie à éclats ne présente pas de différence appréciable avec celle de la couche précédente.

Le *lœss ancien moyen*, partie inférieure (12) formé de limon colluvial nettement remanié par les pluies et *assez fortement calcaire*, présente une *faune très abondante*, en raison d'une part de *l'absence de décalcification* qui caractérise ce niveau dans lequel les ossements se sont bien conservés, d'autre part d'un climat suffisamment humide pour être très favorable à la vie végétale et animale. *Helix nemoralis*, très abondant, remplace *Helix pomatia*. C'est une espèce plus hygrophyle, moins continentale que la précédente. Au point de vue vertébrés : *Elephas antiquus* (plusieurs exemplaires), *Rhinoceros Mercki*, *Ursus* sp., *Cervus elaphus* et *euryceros*, *Capreolus caprea* ; un très petit équidé : *Equus hemionis* (détermination Stehlin) accompagne un grand *Equus* (*E. germanicus*). C'est une faune de forêt tempérée ; le petit équidé indiquerait une affinité avec certaines faunes italiennes.

Notons ici le bon état des ossements, très frais, nullement décomposés, avec peu de concrétions calcaires.

Le lœss ancien moyen, partie supérieure (11) est légèrement humifère à la base, il paraît marquer un nouveau temps d'arrêt dans l'alluvionnement ; il faut lui rattacher le niveau de poupées rondes inférieures ; ce temps d'arrêt de sédimentation a été peu favorable à la conservation des ossements. Wernert signale leur rareté et leur état de mauvaise conservation. Il indique à ce niveau : *Elephas antiquus*, et *Cervus elaphus*, qui indiquent un climat encore assez humide. Les *Helix* se raréfient.

Le lœss atypique, qui termine vers le haut le lœss ancien moyen, voit s'accentuer, semble-t-il, les conditions climatiques continentales : absence de décalcification, comblement du fond de vallon par un dépôt fin sublœssique calcaire, dans lequel les ossements sont très bien conservés.

Notons l'existence d'un petit équidé à caractère sans doute steppique : *Equus hydruntinus* (détermination Stehlin). Dans cette couche il faut signaler, au point de vue paléontologique, un fait nouveau important : des squelettes de marmottes (*Arctomys marmota*) trouvés entiers en place dans leurs terriers ; ces squelettes se différencient absolument, par leur apparence même, des autres ossements de vertébrés trouvés au contraire disjoints dans la même couche. Nous sommes en présence de rongeurs fouisseurs, descendus par leurs galeries d'un niveau supérieur, comme tout à l'heure les *Helix pomatia* du lœss ancien inférieur. Ces marmottes ne seraient donc pas contemporaines de la faune avec laquelle nous les trouvons mêlées.

Au point de vue industrie, aucune variation n'est observable *depuis la base du lœss ancien inférieur.*

Le sol de lehm rouge décalcifié (10) surmontant un lit de poupées calcaires marque la limite supérieure du lœss ancien moyen ; il est caractérisé par *la rareté des ossements*, fait déjà signalé par Wernert.

C'est là encore un phénomène pédologique dû à la véritable digestion des ossements, lors de la décalcification du limon. Nous voyons reparaître ici une *Hyène*, dont les ossements sont les seuls à être assez fréquents. Ce retour d'un climat humide et chaud, décalcifiant accompagné d'ossements d'hyène, nous indique donc un *retour aux conditions de base du lœss ancien inférieur.*

L'industrie ne varie pas, mais est plus abondante dans cette couche, les conditions d'humidité chaude ayant sans doute été particulièrement favorables à la vie de ces peuplades de chasseurs.

En définitive, les deux lœss anciens inférieur et moyen forment un ensemble assez homogène au point de vue climatique et pédologique :

Cet ensemble est encadré entre une période de début et une période terminale particulièrement chaudes et humides avec faune caractérisée par une hyène de petite taille ;

la période intermédiaire comporte deux alternances successives de climats plus continentaux, séparés par un léger maximum de pluviosité provoquant un ruissellement intense et la formation de sols colluviaux légèrement calcaires. La faune de vertébrés varie peu pendant cette période intermédiaire ; elle est caractérisée par *Elephas antiquus* et *Rhinocéros Mercki* ; la faune de mollusques suit de plus près les variations climatiques.

L'industrie appartenant au Paléolithique ancien est en stagnation durant toute cette longue période ; comme la faune de mammifères. elle paraît peu influencée par les variations climatiques.

Le *lœss ancien supérieur* (9) nous montre au contraire la première apparition d'un vrai lœss typique, avec solifluxion intense ; c'est un sol caractéristique de steppe froide. Les os sont extrêmement rares. ce qui est normal en région subdésertique très peu peuplée. Ce n'est plus à la décalcification qu'il y a lieu d'attribuer la rareté des ossements. par digestion pédologique, comme dans les lehms rouges sous-jacents.

Le renne, la marmotte, le lièvre, dont les restes se trouvent à ce niveau, sont des animaux de la steppe froide ; c'est de ce niveau que partent les terriers de marmottes qui descendent jusqu'au sommet du lœss ancien moyen. Les ossements de marmottes sont ici disjoints comme ceux des mammifères qui les accompagnent.

A la partie supérieure apparaît *Spermophylus rufescens*, rongeur des steppes froides vraiment désertiques.

Au point de vue industrie, en parallélisme avec la variation des sols et des faunes, notons la première apparition d'un type amygdaloïde, quoique l'industrie soit encore à éclats, à plan de frappe généralement non préparé ; dans la partie supérieure enfin, présence d'un grand éclat fruste *Levalloisien* avec plan de frappe préparé. Notons aussi la rareté de l'industrie, parallèle à la rareté de la faune, à ce niveau dont les conditions climatiques sont très peu favorables à la vie. Au point de vue mollusques, c'est ici qu'apparaît la trilogie classique

des vrais lœss d'Alsace : *Helix hispida*, *Puppa muscorum*, *Succinea oblonga*.

Le grand lehm (8) qui sépare les lœss anciens des lœss récents est, nous l'avons vu, un sol entièrement décalcifié et légèrement podzolisé de forêt humide et tempérée froide. Dans cette zone de décalcification intense, Wernert signale à nouveau l'état friable des ossements. *Elephas primigenius* a remplacé *Elephas antiquus* du lœss ancien inférieur et moyen ; le reste de la faune indique, comme le sol lui-même, le climat tempéré froid : la marmotte et le renne y voisinent avec le cheval et le cerf.

Au point de vue industrie, apparition d'un type nouveau : *petit biface cordiforme* avec concrétion argileuse. La majeure partie des outils ont encore un plan de frappe non préparé.

Les *lœss récents* présentent les caractères de la steppe froide : la faune est à base de mammouth, cheval, renne, spermophyle.

Le lœss sableux inférieur (7) présente à la base une industrie moustiérienne typique (type La Quina) avec plan de frappe préparé et enlèvement du bulbe.

L'*Aurignacien* apparaît plus haut et passe au *Solutréen* dans du sable de remaniement (6) au voisinage de la limite du lœss supérieur. Lames et grattoirs sont assez fins. Le lœss sableux qui paraît représenter un *maximum glaciaire très important* ferait donc la séparation du Moustiérien et de l'Aurignacien, du Paléolithique moyen et du Paléolithique supérieur.

Le *lœss récent supérieur* (5) a donné des lames fines du Paléolithique supérieur.

Les lehms postlœssiques et les lœss de remaniement ne présentent plus comme faune de vertébrés, que le cerf et les animaux domestiques. Les alluvions marneuses (4) sont jusqu'ici stériles au point de vue industrie, c'est l'ancien hyatus entre le Paléolithique et le Néolithique, sans doute correspondant à l'Azilien. Les lehms plus récents appartiennent au Néolithique et à l'âge des métaux.

Nous avons vu précédemment que les alluvions vosgiennes de la Basse-Terrasse contenaient au point de vue faune, le mammouth, le renne, le cheval, et au point de vue industrie, du Levalloisien roulé et de l'Aurignacien en place. On peut donc bien les considérer comme déposées durant les périodes intermédiaires de la formation des lœss supérieurs sur la Basse comme sur la Moyenne-Terrasse.

Nous avons adopté, pour la commodité de l'exposition qui précède, la classification utilisée jusqu'ici par les géologues et paléontologistes alsaciens, dans les études faites sur les lœss de la région de Strasbourg.

Cette classificat on ne nous paraît plus répondre à la réalité des faits aujourd'hui connus, et ne cadre plus avec celle adoptée par les auteurs modernes, en particulier Sœrgel.

Ce dernier auteur admet que les périodes de maximum glaciaire suivent régulièrement des périodes de forte pluviosité pendant laquelle les vents humides du sud-ouest accumulant les neiges sur les hauts sommets et les rejetant vers le Nord-Est provoquent peu à peu une véritable crue glacière. L'envahissement des glaces sur de vastes espaces provoque peu à peu le refroidissement général du climat et le développement de plus en plus étendu des zones continentales de haute pression à climat sec (voir fig. 11).

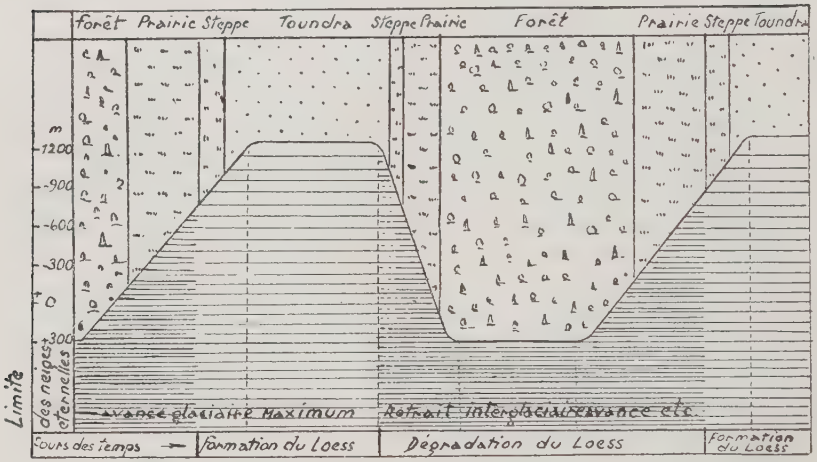


FIG. 11.

Variations théoriques du climat d'une période glaciaire (d'après Sœrgel 1919).

(En réalité, la période sèche de formation du lœss paraît devoir correspondre non pas seulement au maximum, mais encore à la période de retrait glaciaire.)

La zone à climat humide et doux, à végétation forestière, recule par conséquent peu à peu devant la zone à climat plus rude, sec et froid; la forêt fait place peu à peu d'abord à la steppe herbeuse, puis à la steppe désertique, où règne en maître le vent continental, qui charrie les poussières lœssiques.

Mais la dessiccation même du climat et la prédominance des vents continentaux du Nord-Est, provoque peu à peu, à son tour, l'arrêt, puis le recul progressif du front des glaciers descendus jadis vers les plaines continentales sous l'impulsion des vents humides du Sud-Ouest, c'est la période de sénilité des glaciers. Après une période sèche plus ou moins longue, les pluies reparaissent, la steppe commence à reculer ; la végétation forestière peu à peu reprend la place qu'elle avait dû céder aux graminées envahissantes de la steppe.

Appliquons ce schéma aux phénomènes envisagés plus haut à Achenheim.

Les lehms de surface du lœss récent supérieur représentent indubitablement la période climatique humide qui a succédé à la période glacière würmienne. La fin de l'époque würmienne, celle qui correspond à la sénilité des derniers glaciers würmiens est, nous l'avons vu, celle du lœss récent supérieur dont la faune est encore une faune froide ; les lehms qui lui succèdent, au contraire, présentent une faune tempérée : celle des animaux domestiques.

Quelle est la dénomination géologique à appliquer à ces lehms d'une part, au lœss récent supérieur d'autre part?

Dans son magistral ouvrage : Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France, G. Dubois a placé l'ergeron supérieur, l'analogue de notre lœss récent supérieur, présentant lui aussi une faune froide à base *d'E. Primigenius*, dans son étage *flandrien*, qui englobe également les terres à briques postérieures à faune tempérée. Il insiste cependant sur ce que la faune froide n'a acquis son caractère arctique le plus prononcé qu'*après* la glaciation würmienne. Dans les couches marines de la base du Flandrien, tel qu'il le définit (assise d'Ostende inférieure) G. Dubois, signale la présence d'une espèce qu'il considère comme boréo-arctique : *Corbicula fluminalis*, qui disparaît ensuite de la *faune flandrienne en même temps que le mammouth.*

Ultérieurement G. Dubois, s'appuyant sur l'importance de la transgression marine de la fin du Pléistocène, a plus largement encore étendu le terme de Flandrien, y englobant tout le Tardiglaciaire (= Senglacial) et le Postglaciaire danois (voir : un tableau de l'Europe flandrienne). Etant donné l'importance de la coupure qui, au point de vue climatique, sépare le Würmien du Postglaciaire, coupure qui se traduit dans la sédimentation terrestre par l'arrêt définitif du dépôt des lœss en Europe Occidentale, dans la faune par la disparition, dans les mêmes régions, de *l'Elephas primigenius* et des espèces qui l'accompagnent, il me paraît indispensable de marquer d'un trait bien net dans la nomenclature géologique elle-même cette coupure capitale ; je propose pour cela de restreindre le terme de Flandrien au Postglaicaire proprement dit. Vu l'importance que présente le genre Elephas dans la classification du Quaternaire, il me semble assez indiqué de faire coïncider le début du Flandrien en Europe Occidentale, avec l'extinction des Proboscidés, cette extinction coïncidant d'ailleurs avec la fin des manifestations climatiques des glaciations würmiennes dans nos plaines basses. Cette coupure me paraît tout aussi importante au point de vue des industries humaines puisqu'elle sépare approximativement le Paléolithique du Néolithique ou tout au moins le Paléolithique du Mésolithique.

Le *Flandrien* se trouvant ainsi nettement délimité à sa partie inférieure, repose, nous l'avons vu, en Alsace, à la surface des lœss récents précisément caractérisés par la présence de *l'Elephas primigenius.* Ces lœss constituent le *Würmien* proprement dit que je vais maintenant étudier en détail.

Nous avons vu que le *lœss récent supérieur* des auteurs présente vers le haut une diminution progressive de la grosseur de son grain, attribuable à un affaiblissement progressif de l'influence continentale. Le lœss récent supérieur correspond donc bien non pas au maximum glaciaire, mais à la *phase principale de retrait des glaciers würmiens.*

Le *lœss sablonneux* ou lœss récent inférieur des auteurs, présente fréquemment un grain très grossier auquel il doit son nom et qui indique *un maximum* de l'intensité des vents continentaux lors de son dépôt. Ses parties basses ont subi une solifluxion très intense ; ses parties hautes une *érosion maximum*, peut-être éolienne. C'est pour moi la phase du maximum des glaciers würmiens, d'ailleurs précédée par une période très humide et froide (grand lehm d'Achenheim), pendant laquelle l'accumulation progressive des neiges sur les hauts sommets a dû être considérable.

Le *lœss ancien supérieur* des auteurs présente le phénomène inverse de celui du lœss récent supérieur : on voit peu à peu diminuer dans sa masse au fur et à mesure qu'on s'élève, le pourcentage de l'argile et des éléments les plus fins : c'est donc l'accentuation progressive des conditions continentales que nous observons ici, jointe à une solifluxion intense : c'est donc la *phase initiale* des glaciers würmiens.

La faune subit d'ailleurs à la base du lœss ancien supérieur une transformation radicale : on passe brusquement de haut en bas d'une faune froide à rennes et à marmottes à la faune chaude à *Elephas antiquus* du lœss ancien moyen des auteurs. Cette transformation très importante de la faune marque selon moi, une coupure très importante : le début de la période glaciaire würmienne.

Le Würmien est donc caractérisé ici par *trois stades glaciaires successifs*, durant lesquels la faune présente tantôt des caractères arctiques très marqués (renne, citelles), tantôt des caractères plus tempérés ; mais l'homogénéité de la période würmienne au point de vue faune est marquée par la présence continue de *l'Elephas primigenius.*

Je considère donc comme représentant le *Würmien*, les assises suivantes :

1° le lœss récent supérieur des auteurs, W III,
2° le sol de séparation des lœss récents,
3° le lœss récent inférieur des auteurs, W II,
4° le grand lehm,
5° le lœss ancien supérieur des auteurs, W I.

Nous entrons, au-dessous, dans une vaste période à climat chaud ou tempéré, caractérisé au contraire par la présence d'*Elephas antiquus* : ce sont les *lœss anciens moyens et inférieurs* des auteurs ; ils correspondent *dans nos pays* à l'interglaciaire Riss-Würm. L'influence océanique étant dominante durant toute cette période, je la considère comme caractéristique en Alsace du *Monastirien.* Cependant à Achenheim nous avons vu que, dans cette masse de limon où prédomine l'influence d'un climat humide avec décalcification et ruissellement

CLASSIFICATION DES LŒSS D'ACHENHEIM EN FONCTION DES GLACIATIONS ALPINES

CLASSIFICATION DE SCHUMACHER ET WERNERT	PHÉNOMÈNES PÉDOLOGIQUES	CLASSIFICATION PROPOSÉE	FAUNES	INDUSTRIES
1-4 Lehms de surface	Décalcification et alluvionnement	Flandrien	Cerf Animaux domestiques	Métaux, Néolithique Azilien
5 Lœss récent supérieur	Dépôt de lœss et *solifluxion*	Würm III (Bühl)	Renne, Mammouth	Paléolithique supér. Solutréen
6 Sol décalcifié partiellement	Décalcification partielle	Récurrence d'Achen	Mammouth	Aurignacien
7 Lœss récent sablonneux	Dépôt de lœss et *solifluxion* maximum	Würm II	—	Moustiérien
8 Grand lehm	Décalcification complète et légère podzolisation	Grande récurrence	Mammouth Faune forest. tempérée froide	Rares bifaces Paléolithique inférieur à éclats et
9 *Lœss ancien supérieur*	Dépôt de lœss et *solifluxion*	Würm I	Renne, Marmotte	Levalloisien
10 Lehm rouge	Forte décalcification	(Préwürm)	Hyène	Paléolithique inférieur à éclats non préparés
11 Lœss atypique	Arrêt du ruissellement	*Monastirien*	Cheval El. Antique	
12 *Lœss ancien moyen* limon calcaire	Ruissellement		Rh. de Merck	
13 Lehm noir	Arrêt du ruissellement	(Riss II) Interglaciaire Riss-Würm		
14 *Lœss ancien inférieur*	Décalcification et ruissellement intense		Hyène	
15 Marne calcaire	*Solifluxion*	Riss I	Renne, Loup	?
16 Sables vosgiens 17 Sables fluviatiles rhénans ruissellement		Tyrrhénien (Interglaciaire Mindel-Riss)	Faune chaude	?

intense, on peut distinguer deux horizons de moindre humidité avec arrêt momentané du ruissellement permettant même l'apparition de deux sols véritables avec horizons de poupées illuviales ; il y a là deux périodes correspondant à une certaine reprise de l'influence continentale, qui se traduit d'ailleurs à la fois par son action *sur les sols* et sur la *faune de mollusques*. Ces deux périodes correspondent, semble-t-il, à deux phénomènes glaciaires dont l'influence serait très atténuée en Alsace. L'inférieur (lehm noir inférieur d'Achenheim n° 13) correspondrait au *Riss II* de Sœrgel ; le supérieur (lœss atypique, partie supérieure du lœss ancien moyen, n° 11) correspondrait au *Pré-Würm* de Sœrgel. Cette dernière désignation nous paraît particulièrement heureuse à Achenheim, puisque cet horizon se trouve secondairement envahi par les terriers des marmottes de la base du Würmien véritable. Nous avons là une confirmation du fait signalé par G. Dubois dans « Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France », p. 318, lorsqu'il dit : « La faune chaude à *El. Antiquus* et Hippopotame a vécu dans le Nord de la France durant la glaciation rissienne et n'a fait place à la faune froide à *E. primigenius* et *Rh. Tichorhinus* qu'après la glaciation rissienne ». Il faut seulement ajouter à cette phrase une atténuation : durant une partie de la glaciation rissienne; en effet le lœss ancien inférieur des auteurs surmonte à Achenheim une marne mêlée par une forte solifluxion à des sables vosgiens rouges sous-jacents, avec faune froide caractéristique, qui représente les restes de la *glaciation rissienne* proprement dite.

Quant aux sables fluviatiles rhénans à faune chaude qui forment la masse inférieure de la Moyenne-Terrasse du Rhin, ils appartiennent donc à *l'Interglaciaire Mindel-Riss*, c'est-à-dire au *Tyrrhénien*.

Le tableau ci-contre permet la comparaison complète de l'ancienne classification des auteurs alsaciens et de la nouvelle classification que je propose, appuyée à la fois sur les travaux de Sœrgel et sur ceux de G. Dubois.

Ayant proposé une classification géologique complète des dépôts de la Moyenne-Terrasse, il me reste à paralléliser ces dépôts avec ceux que nous avons précédemment décrits sur la Basse-Terrasse et dans la plaine attenante.

Depuis fort longtemps on admet que les deux lœss récents s'étendent comme un manteau uniforme, à la fois à la surface de la Basse et de la Moyenne-Terrasse. Or nous avons vu que, à Lingolsheim, ce ne sont pas deux, mais trois lœss successifs qui, à la surface des graviers rhénans, encadrent les graviers grossiers du delta ancien de la Bruche ; j'admets donc que ces 3 lœss sont les représentants des 3 lœss würmiens de la Moyenne-Terrasse. *Les graviers rhénans qui les portent représentent alors la terrasse rhénane monastirienne* [1], comme les sables rhénans inférieurs d'Achenheim représentent la terrasse rhénane thyrrhénienne.

---

[1] Une molaire d'*El. antiquus* a été extraite à la drague des graviers rhénans à la Wantzenau en aval de Strasbourg et publiée par M. Gignoux et R. Forrer en 1922.

La masse des 3 lœss et des graviers inclus dans les lœss de la Basse-Terrasse de Lingolsheim représente les sédiments würmiens, d'origine mixte, continentale et fluviatile, la Basse-Terrasse de Schiltigheim devant être considérée comme constituée par des sédiments de même âge, mais où prédomine le faciès continental.

Le Flandrien, tel que je l'ai défini à Achenheim, sur le flanc des lœss récents de la Moyenne-Terrasse se retrouve absolument parallèle à Souffelweyersheim sur le flanc des lœss récents de la Basse-Terrasse. Nous retrouvons d'ailleurs les mêmes divisions du Flandrien dans les alluvions de la Bruche, qui forment la vallée actuelle de cette rivière, entre les deux Basses-Terrasses étudiées. Le tableau suivant schématise les divisions du Flandrien tel qu'il se présente dans la région de Strasbourg.

LE FLANDRIEN DES ENVIRONS DE STRASBOURG

(voir tableau page 51)

Divisions géologiques	Au flanc de la Moyenne-Terrasse à Achenheim	Au flanc de la Basse-Terrasse à Souffelweyersheim	Alluvions de la Vallée de la Bruche	Lehms de la Basse-Terrasse de Schiltigheim
Flandrien supérieur	1° Alluvions modernes du ruisseau d'Achenheim	Alluvions modernes de la plaine de l'Ill	Sables modernes de la Bruche	Sols d'érosion du lœss et éboulis lœssiques des fonds de vallons.
Flandrien moyen	2° Lehm brun supérieur du talus dominant le ruisseau	Lehm brun supérieur (Enéolithique)	Dépôt des graviers des bas niveaux, à sols peu différenciés, et podzolisation des graviers des hauts niveaux sans converture lœssique	Lehm brun enterré des fonds de vallons actuels ; légère podzolisation des lehms de plateau. (Hœnheim, la Souffel)
Flandrien inférieur	3° Lehm noir inférieur du talus dominant le ruisseau	Lehm noir inférieur (Néolithique)	—	Lehm noir enterré des vallons fossilles (Hœnheim)
	4° Alluvions lœssiques marneuses	Alluvions lœssiques marneuses	Graviers des hauts niveaux sans couverture lœssique	Formation du lehm de plateau et du lehm alluvial du fond des vallons fossiles (Hœnheim)
Würmien supérieur	Lœss récent supérieur	Lœss récent supérieur	—	Lœss récent supérieur

Chapitre VI

LA MOYENNE-TERRASSE DANS LA RÉGION DE MULHOUSE

Dans les deux chapitres qui suivent nous allons étudier le Quaternaire de la Haute-Alsace. Au lieu de commencer comme dans le Bas-Rhin par étudier la Basse-Terrasse et les alluvions modernes, nous commencerons au contraire ici par la Moyenne-Terrasse, cela en raison des effondrements d'ordre tectonique très importants dans la région mulhousienne, qui, en beaucoup de points, ont abaissé les terrasses supérieures jusqu'au niveau et même au-dessous du niveau de la Basse-Terrasse. Il est donc indispensable d'exposer la configuration des premières, avant d'étudier la Basse-Terrasse dans sa complexité.

La notice explicative de la feuille de Ferrette de la carte géologique de France à l'échelle de 1/50.000e, due à D. Schneegans et N. Théobald (1934) envisage les terrasses suivantes (distinguées par N. Théobald).

	A^2	:	alluvions modernes.
	a 1d	:	Basse-Terrasse rhénane (1 à 3 m. au-dessus de la plaine alluviale).
	a 1c	:	Haute-Terrasse rhénane (10 à 25 m. au-dessus de la plaine).
pour	a 1b	:	Deckenschotter rhénan récent (Mindel) (80 à 90 m. au-dessus de la plaine).
mémoire	a 1a	:	Deckenschotter rhénan ancien (Günz) (150 à 160 m. au-dessus de la plaine).
	p 1	:	Cailloutis du Sundgau (Pliocène supérieur).

Pour me conformer aux notations employées dans les chapitres précédents, j'appellerai, avec G. Dubois, *Moyenne-Terrasse* la terrasse a^1c, qui se trouve être la Haute-Terrasse des auteurs, réservant la dénomination de Hautes-Terrasses aux deux Deckenschotters mindéliens et günziens, beaucoup plus élevés au-dessus du cours du Rhin actuel.

La région de coteaux tertiaires qui s'étend au Sud-Ouest de l'agglomération mulhousienne et jusqu'aux premières pentes du Jura de Ferrette, est couverte d'un épais manteau lœssique.

L'apport du lœss par les vents continentaux du Nord-Est, durant des périodes de climat steppique ou subdésertique et au travers des vastes espaces de la plaine rhénane, est ci particulièrement net. Les lœss occupent, en effet, le bas des pentes formant le seuil Nord-Est de la Trouée de Belfort. Ils font totalement défaut sur la face Ouest de la dite trouée, face exposée aux vents humides. Les versants des

coteaux situés immédiatement au Sud de Mulhouse, entre la vallée de l'Ill et la plaine du Rhin, présentent, d'autre part, la dissymétrie que nous avons signalée dans un chapitre précédent pour la région d'Achenheim. C'est vers l'Ouest, c'est-à-dire du côté exposé aux vents humides venant de la Trouée de Belfort, que nous observons à la fois les sommets les plus élevés et les pentes les plus raides. Notons l'altitude de 389 mètres au Britzgyberg dominant Illfurt, où la plaine de l'Ill n'est qu'à 259 mètres, et celle de 405 mètres au signal de Luemschwiller.

Ces dénivellations de quelques 140 mètres, se traduisent sur les versants Ouest exposés aux pluies par un ravinement intense qui met à nu les couches tertiaires à Illfurth, Flachslanden, Brunstatt. C'est sur ce versant que se trouvent, à Brunstatt, de nombreuses carrières de pierre à bâtir.

Vers le Nord et l'Est, au contraire, d'énormes accumulations de lœss ont, durant toute une partie des temps quaternaires, profondément enfoui, sous leur épais manteau, les roches du soubassement tertiaire et les terrasses de cailloutis rhénans. Les carrières qui y sont ouvertes sont presque toutes des exploitations de lœss pour briqueterie et tuilerie, comme celles de Riedisheim et de Sierentz. Les pentes sont moins fortes que sur l'autre versant ; à Sierentz-Bartenheim, les coteaux s'élèvent à 309 et 307 mètres, la plaine du Rhin étant à environ 255 mètres, soit 50 mètres de dénivellation seulement contre 140 mètres sur le versant de l'Ill.

Donc, ici, comme à Achenheim : au flanc exposé aux vents pluvieux de l'Ouest correspond une érosion intense et une pente très forte, au flanc exposé aux vents continentaux secs, une pente plus douce, s'abaissant graduellement en escalier dont les marches sont fortement empâtées de dépôts limoneux de lœss éoliens et de lehms éluviaux ou colluviaux. Il n'existe, cependant, pas sur le versant Est un plateau incliné uniforme : la masse épaisse de lœss et de lehm résistant très mal à l'action des eaux courantes, et par suite d'un abaissement constant du plan de base, un grand nombre de vallons d'érosion ont pris naissance à sa surface et l'ont peu à peu morcelée. Des croupes arrondies et irrégulières succèdent aux vallons qui ne sont souvent plus que des vallées sèches ou parcourues seulement par des ruisseaux temporaires. Les ruisseaux, mal alimentés dans ces sols de lœss très perméables, se perdent d'ailleurs au pied des coteaux dans la masse des graviers de la plaine rhénane ; aucun d'eux ne parvient à franchir la Harth et à atteindre le Rhin.

Le versant ouest, mieux arrosé, alimente deux cours d'eau profondément encaissés et assez réguliers : l'Ill et le Thalbach.

L'érosion ascendante très violente, qui a ainsi découpé la masse de lœss, et la topographie tourmentée qui en résulte, ont empêché presque complètement, à la surface du lœss, la formation de sols éluviaux bien différenciés. Les sols jeunes, calcaires, dominent presque partout en surface. Nous donnons dans le tableau XV un exemple

de l'analyse d'un sol d'érosion calcaire sur lœss, observé sous forêt, dans le talus de la route de Mulhouse à Bruebach, sur une crête latérale entre deux vallons.

Des sols éluviaux de lehm complètement décalcifié, ne se trouvent guère qu'au sommet des coteaux les plus élevés formant la ligne de partage des eaux entre l'Ill et la plaine rhénane. Ils y sont fortement morcelés par l'érosion.

Un tel sol est coupé par un chemin creux au sud de la côte 405 au nord-est de Luemschwiller (chemin menant à Steinbrunn-le-Bas).

Ce sol de lehm éluvial, malgré l'étroitesse du plateau actuel qu'il occupe, présente des caractères assez voisins de ceux des lehms éluviaux des plateaux que nous avons observés à la Souffel et à Breuschwickersheim dans le Bas-Rhin. Noter, en particulier, la décalcification et le lavage partiel de l'argile dans l'horizon superficiel A, avec léger rechargement en argile de l'horizon B (tableau XII).

TABLEAU XII.

LŒSS ET LEHMS DES COTEAUX DE LA RÉGION MULHOUSIENNE.

DÉSIGNATION DES ÉCHANTILLONS	Sol calcaire Route de Bruebach à Mulhouse		Sol brun lessivé de lehm Plateau de Luemschwiller		
HORIZONS PÉDOLOGIQUES	A	C	A	B	C
Analyse physique %:					
Sable grossier (2 mm. à 0,2)	0	0	0	0	0
Sable fin (0,2 à 0,02)	42,5	40,0	50,0	47,0	41,0
Limon (0,02 à 0,002)	18,0	15,0	27,0	25,0	17,0
Argile (inf. à 0,002)	16,0	5,0	20,0	25,0	7,0
Calcaire	18,0	38,3	0	0	31,6
Sesquioxydes solubilisés	3,1	1,3	1,3	1,1	1,9
Humidité	2,2	0,7	1,7	1,9	1,1
Analyse chimique:					
Azote total °/oo	2,75	0,40	1,35	0,42	0,20
P205 total °/oo	1,25	0,88	1,41	1,49	1,42
P205 assimilable °/oo	0,56	0,69	0,36	0,30	0,65
K20 total °/oo	2,56	0,98	2,40	1,65	0,84
K20 assimilable °/oo	0,31	0,07	0,14	0,10	0,06

La forte érosion que nous constatons actuellement à la surface du lœss des coteaux du Sundgau mulhousien n'est pas un phénomène nouveau ; durant les périodes intermédiaires d'arrêt de dépôt des lœss, l'érosion a déjà joué le même rôle à plusieurs reprises et c'est ce qui explique que dans certaines carrières, comme celle de *Riedisheim*, aux portes de Mulhouse, les lœss récents occupent une hauteur considérable (quinze à vingt mètres) sans présenter les couches de lehms intercalaires distinctes, caractéristiques des sols éluviaux enterrés. Nous observons seulement une masse considérable de lœss avec lits de poupées souvent très grosses, séparés par des traces d'érosion irrégulières et assez peu visibles, le tout reposant sur un complexe

assez confus de lehms anciens entièrement décalcifiés, qui correspond, probablement pour partie seulement, aux limons anciens de l'Interglaciaire Riss-Würm que nous avons observés à Achenheim. Ces lehms reposent, à leur tour, sur des alluvions rhénanes dont la partie supérieure est entièrement décalcifiée et agglomérée en surface en un lit de poudingue ferrugineux noir très dur. N. Théobald admet que nous sommes là en présence des graviers du Deckenschotter récent. Il signale dans les lehms anciens immédiatement supérieurs la présence de restes d'*Elephas primigenius*, attribuables à une période glaciaire ancienne, sans doute au Riss. Des traces très nettes de solifluxion sont visibles, et dans le lœss calcaire le plus inférieur (qui fait partie des lœss moyens de Théobald) que j'attribue au Würmien inférieur, et dans les lehms de base à El. primigenius (Riss).

Notons qu'à Riedisheim, le sol d'alluvions rhénanes anciennes enterré sous une grande masse de lehms anciens et de lœss récents, se trouve au *niveau même* de la plaine actuelle constituée par la surface de la Basse-Terrasse (236 m.). Mais cette carrière n'est plus en exploitation ; et les observations précises y sont assez difficiles à faire.

A *Sierentz*, au contraire, une belle carrière de lœss, déjà signalée jadis par Förster, est aujourd'hui encore en pleine exploitation, au flanc du coteau qui domine la Basse-Terrasse du Rhin (voir photo 20, planche VIII).

Si nous étudions les formations mises au jour dans la carrière supérieure de cette briqueterie nous observons de bas en haut les couches suivantes (voir fig. 12).

A 10 mètres environ au-dessus du niveau de la Basse-Terrasse, on trouve une terrasse alluviale ancienne. Cette terrasse, formée de cailloutis rhénans calcaires, de couleur grise, présente en surface et sur une profondeur de 2 mètres environ, un horizon décalcifié et rubéfié. La partie supérieure des graviers rubéfiés passe à un lehm brun rougeâtre entièrement décalcifié lui-même et recouvert par un lœss typique fortement calcaire.

Ce lœss calcaire inférieur, qui a une épaisseur de 4 à 5 mètres, contient d'énormes poupées atteignant parfois près d'un mètre de longueur et dont la tête est située à un mètre environ au-dessous du toit de la formation calcaire. Il contient la faune classique des mollusques du lœss : *Pupa muscorum*, *Helix hispida*, *Succinea oblonga* auxquels il y a lieu d'ajouter une espèce plus grande : *Helix arbustorum*, localisée à un niveau inférieur aux poupées. Notons, à titre de curiosité, le fait que la plupart des grandes poupées de ce niveau présentent incrustés à leur surface de beaux échantillons de la petite faune de mollusques.

Au-dessus de ce lœss calcaire existe une succession de 3 horizons superposés de *lehm* entièrement décalcifié :

1° lehm supérieur jaune grisâtre clair, un peu calcaire à structure schisteuse horizontale (structure de limon battant),

2° lehm moyen de couleur brun noirâtre, décalcifié, à structure polyédrique,

3° lehm inférieur rouge décalcifié à structure prismatique verticale.

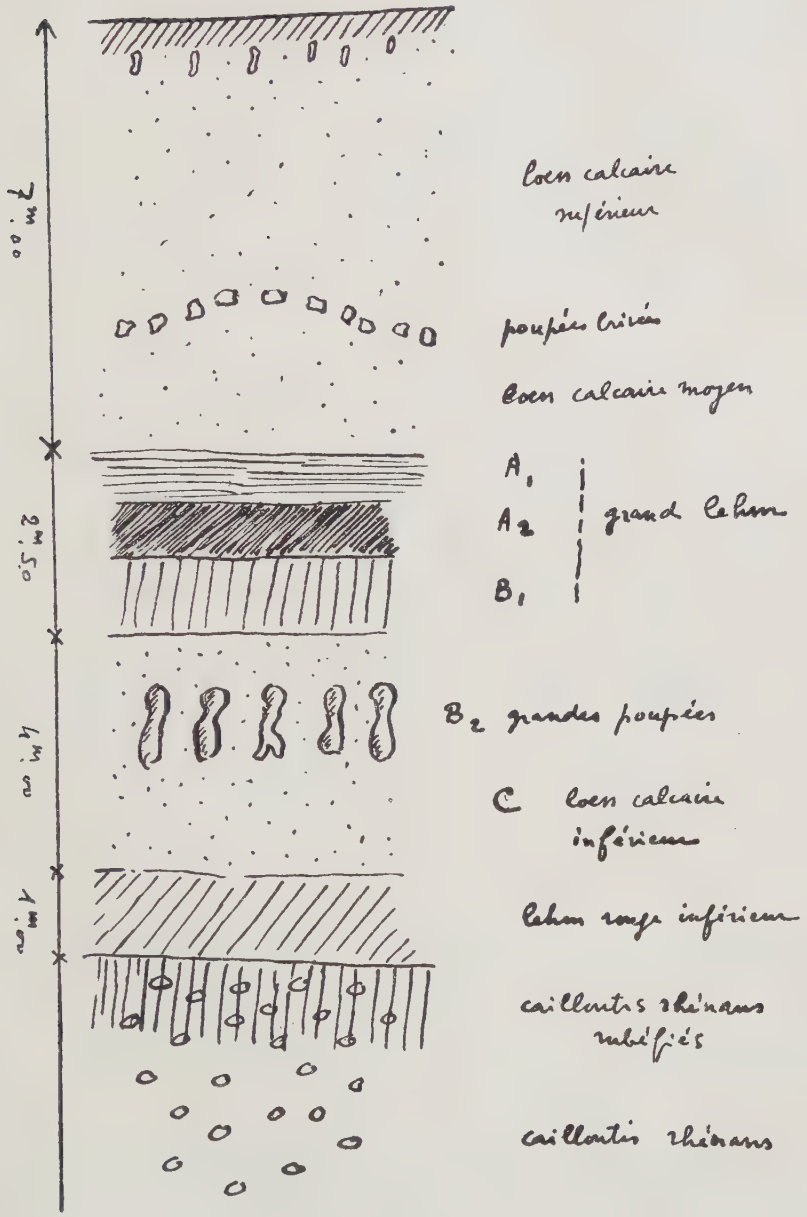


FIG. 12.

Coupe des lœss de la carrière supérieure de Sierentz.

Cet ensemble constitue un *sol fossile éluvial* bien caractérisé, constitué aux dépens du lœss calcaire inférieur ; les horizons pédologiques successifs sont les suivants :

1° horizon A_1 : lehm clair et partiellement lessivé de ses colloïdes (horizon éluvial),
2° horizon A_2 : lehm argilo-humique,
3° horizon B_1 : lehm argilo-ferrugineux
4° horizon B_2 : grandes poupées calcaires
} horizons illuviaux
5° horizon C : lœss calcaire inférieur roche mère.

La petite quantité de calcaire existant dans l'horizon supérieur A_1 paraît résulter d'infiltrations secondaires en provenance du lœss calcaire immédiatement supérieur.

TABLEAU XIII.

LŒSS ET LEHM DE LA CARRIERE DE SIERENTZ.

ORIGINE DES ÉCHANTILLONS HORIZONS PÉDOLOGIQUES	lœss supér.	lœss moyen	lehm jaunâtre A_1	lehm brun A_2	lehm rouge B_1	lœss infér. C
Finesse de la terre :						
Elém. fins (inf. à 2 mm.)	98,9	100	100	99,5	99,2	98,5
Elém. grossiers	1,1	0	0	0,5	0,8	1,5
Analyse physique % :						
Sable gros. (2 mm. à 0,2)	0,1	0,1	0,5	1,5	0,5	0,2
Sable fin (0,2 à 0,02)	42,7	45,8	42,2	43,8	41,9	33,0
Limon (0,02 à 0,002)	15,4	13,0	28,4	29,2	29,0	21,0
Argile (inf. à -0,002)	5,7	6,2	20,2	23,0	25,5	7,2
Sesquioxyde solubilisé	2,4	3,5	1,8	1,1	1,0	2,0
Humidité	0,7	0,7	2,5	1,8	2,2	0,7
CO^3Ca	33,0	31,0	4,0	—	—	36,0
Analyse agronomique						
pH	7,9	7,7	7,5	7,45	7,3	7,8
Azote total	0,28	0,20	0,45	0,50	0,45	0,35
P^2O^5 total	0,99	1,28	1,32	0,93	0,89	1,25
K^2O total	—	0,80	1,70	2,25	—	—
P^2O^5 assimilable	0,70	0,54	0,47	0,12	0,02	0,69
K^2O assimilable	0,09	0,07	0,08	0,11	0,19	0,09

Ce sol de lehm présente beaucoup d'analogies avec le grand sol de lehm de la carrière Hurst à Achenheim, qui sépare le lœss würmien inférieur du lœss würmien moyen (lœss ancien supérieur et lœss récent inférieur des auteurs).

Au point de vue analyse (voir tableau XIII) il faut signaler à Sierentz comme à Achenheim, l'infiltration calcaire de la partie supé-

rieure du lehm, à partir du lœss qui le surmonte, et l'enrichissement en argile du lehm illuvial rouge inférieur par rapport au lehm supérieur. L'évolution podzolique (lavage de l'argile) est un peu moins marquée à Sierentz qu'à Achenheim. Cela peut provenir de l'action locale plus ou moins forte de l'érosion. De plus, le sol observé à Achenheim s'est formé dans une petite dépression bien visible sur la coupe, alors qu'à Sierentz, il s'est constitué à la surface d'un plateau plus régulier et plus étendu. C'est ce qui explique également, sans doute, l'existence, à Sierentz, d'un horizon régulier de poupées calcaires de grande taille au-dessous du sol de lehm, cet horizon étant absent à Achenheim.

Revenons à la coupe de Sierentz :

A la surface de cette couche de lehm, on trouve un nouveau lœss calcaire, jaune clair, que nous appellerons *lœss calcaire moyen*, c'est le « jüngerer sandiger Löss» s l, de Förster (carte n° 131). Il est assez riche à sa partie inférieure en ossements de chevaux. Il est surmonté par un troisième lœss calcaire, très clair, presque blanc, *le lœss supérieur* « jüngerer Löss», l, de Förster. Dans ces deux lœss, les coquilles de mollusques, toutes de petite taille, sont particulièrement peu abondantes. La limite entre ces deux formations est assez irrégulière et marquée par une forte érosion. On observe par place un véritable cailloutis formé par des poupées brisées, anguleuses, enrobées dans un sable calcaire assez grossier, le tout ayant l'aspect d'une véritable laisse de solifluxion et rappelant jusqu'à un certain point les cailloutis de la base de l'ergeron dans la région parisienne. Il y a donc eu, entre le dépôt de ces deux lœss, une période d'érosion qui a détruit localement un sol de décalcification qui avait dû se constituer et dont les poupées brisées constituent un dernier témoin. Förster a signalé, en provenance d'un lehm ayant existé autrefois à ce niveau lors des premiers travaux effectués dans la carrière de Sierentz, la découverte d'une lame de silex taillée de facture aurignacienne (voir geologischer Führer, p. 283 et planche XVII).

Le lœss calcaire supérieur blanc, lui-même érodé en surface, a donné naissance superficiellement à un sol moderne, à peine teinté par l'humus et non décalcifié, au-dessous duquel nous trouvons des tubes de racines en voie de concrétion calcaire, mais présentent fréquemment encore leurs tissus ligneux en partie intacts.

Dans une récente visite faite à la carrière de Sierentz, en compagnie de M. et Mlle Wernert, j'ai trouvé, au milieu des poupées remaniées par les ouvriers, un galet taillé que M. Wernert a bien voulu décrire pour moi (voir fig. 13 et planche IX, photo 23).

Galet de grès zoné siliceux à grains très fins, d'origine rhénane, épais (dimensions 0,095 × 0,085 × 0,055) fendu obliquement pour l'obtention d'un nucléus ; de nombreux enlèvements (quatre nettement visibles) juxtaposés, partent latéralement du plan d'éclatement sur la surface roulée du galet, perpendiculairement au plan d'éclatement. Ces enlèvements présentent un aspect très régulier ayant donné lieu à l'obtention d'éclats très minces. Sur le tranchant arrondi, opposé à la base de préhension, des traces d'utilisation sont perceptibles. De rares concrétions existent sur la face roulée du galet.

FIG. 13.

Galet de grès taillé de Sierentz (échelle 1/2).

Un ouvrier auquel j'ai présenté cette pièce n'a pas hésité à l'attribuer au lehm rougeâtre de base, à une hauteur de cinquante centimètres environ au-dessus de la surface des graviers rubéfiés. De telles pièces seraient assez fréquentes à ce niveau.

Revenons aux lœss mêmes de Sierentz, nous avons vu qu'ici les deux supérieurs sont séparés par une véritable surface d'érosion avec poupées brisées. Il n'en est pas de même plus à l'Ouest, dans la masse des lœss du coteaux ; on trouve en effet dans la tranchée de la route de Kœtzingen à Magstatt-le-Bas, un sol brun calcaire bien développé, surmontant de petites poupées et séparant précisément les deux lœss supérieurs.

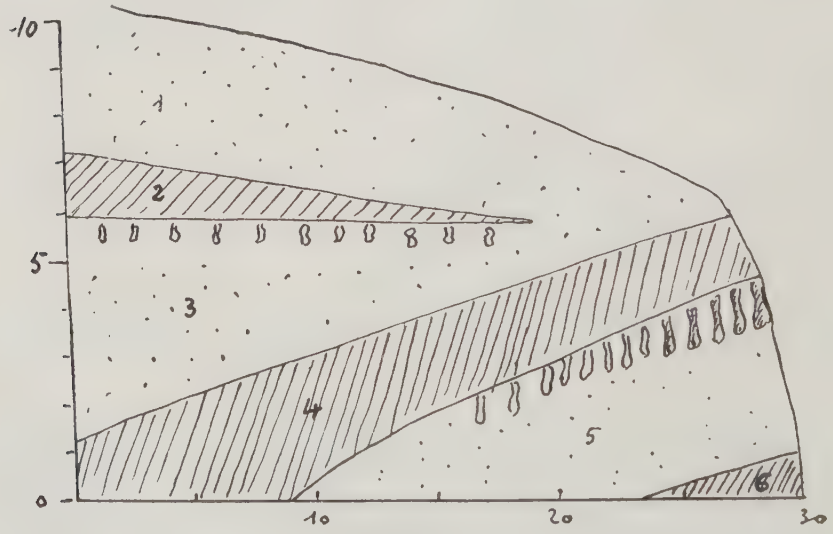


FIG. 14.

Coupe des lœss de la carrière de Pfastatt.

Une autre fort belle coupe dans les lœss, située tout près de Mulhouse, se trouve dans le coteau de *Pfastatt*. Celui-ci forme un véritable ilôt de lœss, au Nord de l'agglomération mulhousienne, entre la plaine de la Doller et les cailloutis du delta de la Thur. Förster avait déjà figuré (profil XVIII, p. 277, Geologischer Führer für die Umgebung von Mülhausen) la coupe des lœss et lehms du coteau de Pfastatt relevée à l'Ouest de l'ilôt de lœss dans le chemin creux de Lutterbach à Richwiller. Cette coupe est actuellement difficilement accessible, en raison de clôtures nouvellement construites. Par contre une très bonne coupe est visible dans la carrière de lœss située sur la face sud de l'ilôt et au voisinage de son extrémité orientale, à l'Ouest de la cote 260 (voir photo 21, planche IX). Nous observons là de haut en bas (voir fig. 14) :

1° un lœss supérieur blanc, fin, calcaire, ne contenant à peu près pas de coquilles de mollusques,

2° une couche de lehm brun rougeâtre, encore légèrement calcaire et se terminant en biseau vers le Sud,

3° un lœss moyen calcaire, très fin, contenant des poupées de taille moyenne formant un horizon illuvial en rapport avec le lehm précédent,

4° une épaisse couche de lehm rougeâtre entièrement décalcifié et fendillé,

5° un lœss inférieur calcaire contenant à sa partie supérieure de grandes poupées en forme de racines en liaison directe avec le lehm éluvial susjacent. Ce lœss contient d'assez abondantes coquilles de mollusques ; à côté des petites espèces habituelles : *Helix hispida*, *Pupa Muscorum*, *Succinea oblonga*, nous trouvons ici, comme dans le lœss inférieur de Sierentz, une espèce plus grande : *Helix arbustorum*.

6° un lehm inférieur décalcifié.

FIG. 15.

Galets de quartzite taillés de Pfastatt (échelle 1/2).

Tableau XIV.

RÉSULTATS DE L'ANALYSE PHYSIQUE DES ÉCHANTILLONS DES LEHMS ET LŒSS DE LA CARRIÈRE DE PFASTATT.

ORIGINE DES ÉCHANTILLONS	Sable grossier 2 mm. à 0,2 %	Sable fin 0,2 à 0,02 %	Limon 0,02 à 0,002 %	Argile inf. à 0,002 %	Calcaire %	Sesqui-oxydes solubilisés %	humidité %
lœss supérieur	0	37,5	17,5	6,2	35,0	2,9	0,8
lehm supérieur	0	36,3	27,5	26,7	4,7	1,6	2,9
lœss moyen ...	0	28,0	22,2	10,1	36,0	2,7	1,0
lehm moyen ..	0	34,4	33,5	27,5	0	1,4	3,2
lœss inférieurr .	0	30,6	25,0	13,0	28,3	1,8	1,3
lehm inférieu .	0	44,2	26,8	25,4	0	1,3	3,3

J'ai eu la bonne fortune de découvrir parmi les tas de poupées, abandonnées par les ouvriers sur le sol de la carrière lors de l'extraction du lœss, quelques pièces d'un outillage paléolithique fruste rappelant par leur aspect et leur facture les pièces trouvées à Achenheim pa P. Wernert. Les quatre pièces trouvées sont des galets de quartzite en provenance des graviers de la Thur. La surface roulée des galets présente une belle patine d'un brun jaunâtre assez clair ; de fortes concrétions calcaires, dures, analogues à celles relevées sur les poupées voisines et présentant fréquemment l'aspect de tubes radiculaires, s'étendent aussi bien sur l'ancienne partie polie des galets que sur les faces taillées (voir fig. 15, et photo 22, planche IX).

M. Wernert a bien voulu décrire ainsi les deux pièces taillées :

1° Grand enlèvement de galet de quartzite (0,12 m. × 0,09 × 0,04). Grand plan d'éclatement, formant face plane, qui paraît partir d'un plan de frappe taillé, perpendiculaire, situé à l'une des extrémités de la pièce et oblique par rapport à l'axe de celle-ci. A l'extrémité opposée au plan de frappe et sur la face convexe roulée du galet, sont taillés deux éclats donnant lieu à la formation d'une pointe, du fait d'une petite encoche retouchée existant à la droite de celle-ci. Le tranchant des deux éclats de taille présente de nombreuses traces d'utilisation. Un autre petit éclat de taille se trouve sur le bord gauche. Tous les éclats de taille ainsi que le plan d'éclatement de la face plane et la face convexe roulée sont partiellement recouverts d'épaisses concrétions calcaires.

2° Galet de quartzite épais fendu obliquement pour l'obtention d'un nucléus (0,09 m. × 0,08 × 0,06) deux enlèvements juxtaposés partant latéralement du plan d'éclatement. Sur le tranchant frontal rectiligne opposé à la base de préhension, un éclat de taille se présente sous forme d'encoche. Ce tranchant de nucléus paraît porter des traces d'utilisation. De très importantes concrétions calcaires recouvrent aussi bien la surface naturelle que les éclatements artificiels du galet.

Ces deux outils et celui précédemment décrit en provenance de Sierentz, sont les *seuls représentants actuellement connus, pour les lœss du Haut-Rhin*, de l'industrie à base de galets taillés à éclats décrite dans le Bas-Rhin par P. Wernert.

Dans les stations d'Achenheim et Hangenbieten, des galets analogues de quartzite et autres roches siliceuses se rattachant au Paléolithique inférieur et moyen existent dans les trois grandes subdivisions du lœss ancien de Schumacher et à la base du lœss récent inférieur.

Notons enfin que la forme générale du second outil de Pfastatt présente une analogie manifeste avec celle du galet de grès taillé trouvé par moi à Sierentz (voir photo 23, planche IX).

En dehors de ces pièces nettement taillées, un gros caillou de quartzite non taillé, présente, à côté des concrétions calcaires caractéristiques, des marques d'utilisation extrêmement nettes sous forme de meurtrissures localisées à la surface d'une face relativement plane, ce qui paraît indiquer un emploi pour le débitage d'autres pièces.

Un second caillou de quartzite, de moins grande taille et de forme allongée, présente également des marques d'utilisation, mais localisées sur une extrémité ; il devait donc être utilisé pour la percussion.

Ces quatre instruments présentent un air de famille tout à fait remarquable quant au choix très uniforme de leur matière (quartzite). Ils ont dû être triés avec soin au milieu des graviers de la Thur, où les cailloux de quartzite représentent un faible pourcentage. Ceux-ci sont en général représentés par des exemplaires de grande taille, en raison de leur dureté qui les a préservés contre le débitage et l'usure sous l'action des eaux courantes. Les tailleurs de pierre du Paléolithique inférieur de la région de la Thur, avaient su reconnaître les qualités de dureté de cette roche, puisqu'ils s'adressaient de préférence à elle.

D'après les concrétions qui les recouvrent, ces instruments paraissent provenir du lœss inférieur à grandes poupées; malheureusement il ne m'a pas été possible, en examinant les parois de la carrière, de découvrir aucune pièce en place dans le lœss ; de plus l'abandon de l'exploitation ne me permet pas d'espérer de nouvelles découvertes à faire « in situ». Mais en tout état de cause, il s'agit là de la plus ancienne industrie humaine découverte jusqu'ici dans la région mulhousienne, et dont l'équivalent en Alsace n'était encore connu que d'Achenheim.

A environ 5 kilomètres au nord de Pfastatt, complètement entouré par les alluvions vosgiennes du delta de la Thur, existe un second îlot de lœss, plus réduit que le précédent, c'est le « Hohrœderhübel», situé sur le bord ouest de la route de Mulhouse à Bollwiller, au sud de Schœnensteinbach.

Les deux lœss supérieurs sont ici séparés par un sol rougeâtre, légèrement calcaire, lui-même surmonté de deux petits lits sableux rougeâtre. De petites poupées existent au-dessous de ce sol dans le lœss moyen. Ces deux lœss sont en transgression sur une couche de lehm rouge décalcifié, formant talus vers l'est, fortement remanié en surface et qui s'étend lui-même à la surface d'un troisième lœss à très grandes poupées. Dans ce lœss inférieur ont été creusés des abris pendant la guerre 1914-18. Ce lœss passe lui-même à sa partie inférieure à un nouveau lehm rouge, argileux, décalcifié. Nous avons donc ici une coupe parallèle à celle de Pfastatt.

Je décrirai, pour finir, une carrière de lœss située au sud *d'Eguisheim*, sur les collines sous-vosgiennes, que j'ai fait visiter, en juillet 1934, aux membres de la 1re Commission de l'Association Internationale de la Science du sol. Depuis lors, la carrière a été approfondie et permet d'apercevoir des couches plus profondes.

La partie supérieure de la carrière (voir fig. 16) est formée d'une couche de lœss blanc calcaire, très poreux, analogue au lœss blanc supérieur de Sierentz et de Pfastatt.

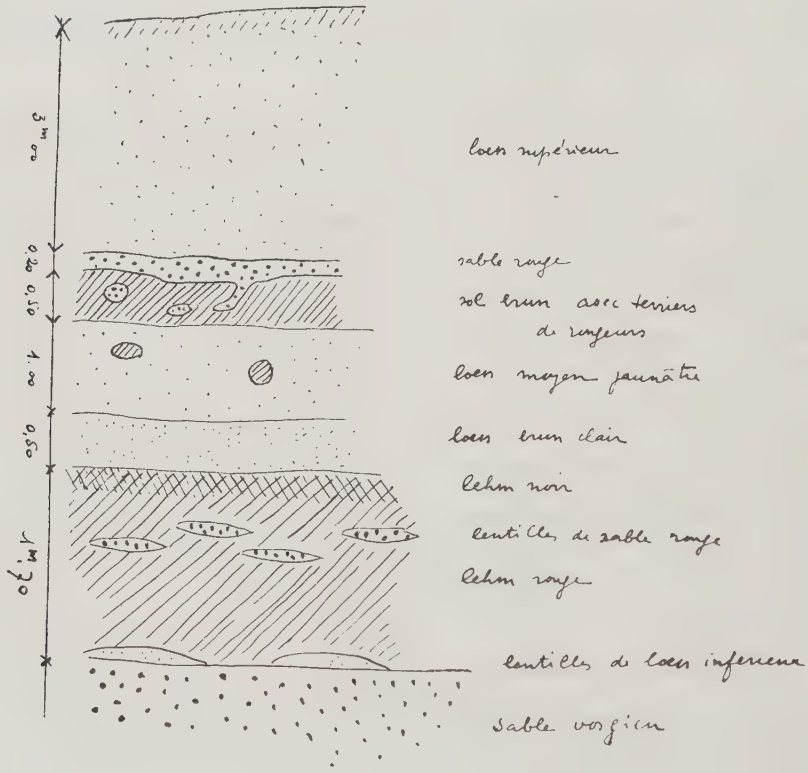


Fig. 16.

Coupe des lœss de la carrière au Sud d'Eguisheim.

Au-dessous de lui, une faible couche de sable siliceux rougeâtre, d'origine vosgienne, ravine un ancien sol brun noirâtre calcaire qui présente beaucoup d'analogies avec les *tchernozioms* de la steppe russe. Il en a, en particulier, la structure granuleuse caractéristique. On y trouve la trace de terriers de rongeurs fouisseurs d'assez forte taille (10 à 20 cm. de diamètre) qui traversent le sol brun, où ils sont alors fréquemment remplis par le sable rouge de la couche immédiatement

supérieure. Ces terriers pénètrent dans le lœss jaune sous-jacent où ils sont alors remplis par le tchernoziom et où leurs sections foncées sont particulièrement apparentes. Des terriers analogues (citelles) sont décrits dans les tchernozioms de l'Est européen par les auteurs russes sous le nom de « Krotovines».

Ce tchernoziom repose sur un lœss calcaire un peu sableux, jaune, que nous pouvons paralléliser avec le lœss moyen de Sierentz.

Donc, entre les deux dépôts de lœss, une période à climat plus humide et moins rude a permis l'arrêt momentané de la formation du lœss subdésertique et l'apparition, à sa surface, d'un sol brun de steppe, à faune de gros rongeurs. A la fin de cette période, et avant le dépôt du lœss blanc, un ruissellement assez intense ou une forte solifluxion, a amené, des pentes vosgiennes, du sable rouge siliceux. Ce phénomène est à rapprocher de celui qui a provoqué, à Sierentz, l'érosion totale de l'ancien sol de la surface du lœss moyen, sol dont ne restent que les témoins sous la forme de poupées plus ou moins brisées.

A Eguisheim, le lœss jaune calcaire, vers sa base, se teinte de plus en plus de brun et repose, lui-même, sur une épaisse masse de *lehm* décalcifié de 2,50 m. d'épaisseur environ qui fait l'objet de la nouvelle exploitation entreprise par la Briqueterie d'Eguisheim.

La partie supérieure de ce lehm est teintée de noire, elle se morcelle, par dessiccation, en colonnes prismatiques qui lui donnent l'aspect de certains sols argileux alcalins, de la steppe russe. Au-dessous, le lehm devient rougeâtre et présente des intercalations assez irrégulières de lits sableux rougeâtres. Cette masse repose sur un sable siliceux également rougeâtre, d'origine vosgienne, qui constitue le fond actuel de la carrière ; mais on trouve pincées, entre le lehm et ces sables rouges, quelques lentilles irrégulières de *lœss calcaire blanc jaunâtre*, derniers témoins du lœss calcaire inférieur, détruit, semble-t-il, ici, par une forte solifluxion.

Les phénomènes *d'alluvionnement* qui ont constitué la masse de lehm mêlée de sables rouges (voir analyse tableau XV) seraient alors contemporains des fortes précipitations qui ont permis, à Sierentz, la formation *sur place* du sol podzolique à grandes poupées, à la surface du lœss inférieur. Ce sont deux faciès différents des sols d'une même période géologique pluvieuse : limon de lavage à Eguisheim, sol en place à Sierentz.

Signalons enfin les différentes trouvailles paléontologiques et archéologiques effectuées dans les lœss et lehms de la Haute-Alsace.

Le lehm argileux sur lequel reposent les deux lœss récents supérieurs, et qui souvent ravine directement le substratum tertiaire dans les coteaux de la région mulhousienne, a fourni en abondance des ossements et dents d'*Elephas primigenius* ; mais, c'est au voisinage d'Eguisheim, à *Vœgtlinshofen*, que ce lehm a réservé les plus belles découvertes. Les ossements, étudiés par L. Döderlein, Faudel et Bleicher ont révélé, en particulier, l'existence de :

Elephas primigenius, *Rhinoceros tichorhinus*, *Sus scrofa*, *Canis lupus*, *Ursus spelaeus*, *Ursus arctos*, *Gulo borealis*, *Hyaena spelaea*, *Felis spelaea*, *Felis lynx*, *Felis catus*, *Marmota marmota*, *Lemnus lemnus*, *Myodes torquatus*, *Lepus variabilis*, *Equus caballus*, *Rangifer tarandus*, *Cervus elaphus*, *Antilope rupicapra*, *Capra ibex*, *Bos primigenius*, *Bos taurus*.

TABLEAU XV.

LŒSS ET LEHMS D'EGUISHEIM.

ORIGINE	Lœss supérieur	Sol de tchernoziom	Lœss moyen	Lehm noir	Lehm rouge
Finesse de la terre % :					
Eléments fins (inf. à 2 mm.)	100	99,5	9,4	98,8	99,8
Eléments grossiers	0	0,5	0,6	1,2	0,2
Analyse physique de la terre fine % :					
Sable grossier (2 mm. à 0 mm. 2)	0,4	3,3	1,4	7,9	12,0
Sable fin (0 mm. 2 à 0 mm. 02)	40,0	29,1	29,2	31,0	34,3
Limon (0 mm. 02 à 0 mm. 002)	15,0	20,1	17,0	23,0	23,0
Argile (inf. à 0 mm. 002)	7,4	22,0	9,5	35,0	28,0
Calcaire	35,0	21,5	39,5	0	0
Sesquioxydes solubilisés	1,4	1,6	2,1	—	—
Humidité	0,8	2,4	1,2	3,1	2,6
Analyse chimique de la terre fine :					
pH	7,9	7,4	7,9	7,6	7,4
Azote total °/oo	0,25	0,45	0,25	0,37	0,40
P^2O^5 total °/oo	1,17	1,17	0,99	0,95	0,96
P^2O^5 assimilable °/oo	0,92	0,60	0,60	0,23	0,24
K^2O total °/oo	1,08	2,52	1,03	2,83	2,69
K^2O assimilable °/oo	0,06	0,06	0,06	0,09	0,09

G. Dubois a, depuis, étudié plus spécialement les rongeurs de Vœgtlinshofen ; il y a signalé des formes éteintes de steppe-toundras se rapportant aux espèces suivantes : *Lemnus lemnus L.*, *Arvicola terrestris L.*, *Citellus rufescens K. et Bl.* (C. R. Soc. Géol. de France N° 12, 1929, p. 176 à 177).

Quelques instruments de facture moustérienne ont également été trouvés à Vœgtlinshofen.

Nous sommes par conséquent nettement en présence d'une faune würmienne, qui contient à la fois des éléments faunistiques de forêt tempérée et des éléments de steppe froide. Or, nous avons vu que le grand lehm d'Eguisheim présente les caractères d'un dépôt alluvial de région humide se terminant vers le haut par un sol noir, analogue aux sols alcalins de la steppe herbeuse russe et passant, plus haut, au lœss calcaire, dépôt éolien caractéristique de la steppe subdésertique. L. G. Werner signale d'ailleurs, d'Eguisheim même, *El. primigenius*, *Rhinoceros* sp., *Ursus spelaeus*, *Bos primigenius*, *Cervus alces*. (La Faune vertébrée quaternaire du Haut-Rhin, 1927.)

A Flachslanden, le lehm de surface du lœss récent a fourni une station néolithique à caractères assez archaïques signalée par L. G. Wernert sous le nom de paléonéolithique. Enfin, le Néolithique typique a donné lieu à de fréquentes découvertes dans les lehms de surface du Sundgau.

Toutes ces découvertes, anciennes ou récentes, confirment le parallélisme entre les lœss et lehms de la Haute-Alsace, que nous venons de décrire, et ceux de la région de Strasbourg-Achenheim étudiés dans les chapitres précédents.

Les trois lœss que nous avons observés plus particulièrement à Sierentz et à Pfastatt, sont donc séparés par deux lehms : le supérieur incomplètement décalcifié et fréquemment érodé par une solifluxion intense, l'inférieur plus important et plus fortement évolué au point de vue pédologique, surmontant fréquemment un horizon de grandes poupées.

Il semble que nous puissions considérer ces trois lœss comme l'équivalent des 3 lœss supérieurs d'Achenheim que j'ai qualifiés de *würmiens*. J'ai montré qu'à Achenheim, le lœss würmien inférieur n'acquiert que peu à peu les caractéristiques d'un lœss éolien de steppe subdésertique ; or à Pfastatt, comme à Sierentz, le lœss inférieur paraît, par sa faune de mollusques, être moins franchement steppique que les deux lœss supérieurs ; il contient en effet vers sa base quelques gros *Helix* (*H. arbustorum*), à côté des espèces de petite taille caractéristiques des lœss ; les deux lœss supérieurs au contraire ne contiennent que la petite faune (*Helix sericea*, *Succinea oblonga*, *Pupa muscorum*), et en quantité minime.

Les galets de quartzite taillés ou utilisés provenant du lœss inférieur seraient donc l'équivalent de ce que Schumacher a considéré à Achenheim comme de l'Acheuléen supérieur (Achenheim als Geologisch-Prähistorische Station, Schumacher, Die Vogesen, Nr. 10, 1914). Ces lœss reposent, nous l'avons vu, à Sierentz comme à Pfastatt, sur des *lehms décalcifiés*, s'étendant eux-mêmes à Sierentz sur des graviers du Rhin rubéfiés et décalcifiés en surface. Ces sols décalcifiés de lehm et de graviers seraient donc l'équivalent des lehms anciens moyens et inférieurs de Schumacher et Wernert, à Achenheim, c'est-à-dire correspondraient à notre *Monastirien* ou *Interglaciaire Riss-Würm*.

Quant aux cailloutis rhénans eux-mêmes de la terrasse ancienne de Sierentz, ils seraient alors attribuables à la période pluvieuse du début du Rissien, c'est-à-dire à l'Interglaciaire Mindel-Riss (Tyrrhénien). Ils seraient l'équivalent des sables fluviatiles rhénans d'Achenheim, ce qui confirme la désignation de Moyenne-Terrasse que j'ai appliquée à la terrasse de Sierentz, en conformité avec la classification adoptée par G. Dubois pour le Bas-Rhin. La surface de ces cailloutis est, à Sierentz, à 10 mètres environ au-dessus du niveau de la Basse-Terrasse, à Pfastatt et au Hohrœderhübel les lehms anciens sont au niveau, et passent même au-dessous des graviers de la Basse-Terrasse.

La Moyenne-Terrasse a donc subi dans la région mulhousienne un mouvement d'enfoncement vers le Nord, qui la fait disparaître au-dessous du niveau de la Basse-Terrasse.

Si nous cherchons à classer les formations qui constituent les Moyenne-Terrasse et Haute-Terrasse de la région du Sundgau, en tenant compte du fait que les grandes masses de graviers alluviaux correspondent généralement à des périodes de forte pluviosité, donc à influence océanique dominante, nous obtiendrons la succession suivante :

Würmien	W III	lœss supérieur de Sierentz lehm de décalcification et laisse de solifluxion
	W II	lœss moyen de Sierentz grand lehm de Sierentz
	W I	lœss inférieur de Sierentz
	Monastirien	lehm inférieur de Sierentz sol rubéfié sur graviers de la Moyenne-Terrasse de Sierentz
	Tyrrhénien	graviers de la Moyenne-Terrasse de Sierentz
Pour mémoire	*Milazzien*	graviers de la Haute-Terrasse inférieure ou Deckenschotter récent d'Oberwill (Mindel de Schneegans et Théobald)
	Sicilien	graviers de la Haute-Terrasse supérieure ou Deckenschotter ancien de Leymen et Biel (Günz des mêmes auteurs)
	Calabrien	(= Villafranchien) Cailloutis des plateaux du Sundgau.

Les graviers fluviatiles correspondant au Monastirien et au Würmien n'apparaissent pas dans ce tableau ; mais nous avons vu que dans la région de Strasbourg nous n'avons rencontré ceux-ci que dans le domaine de la Basse-Terrasse : les graviers monastiriens, de faciès rhénan, à la base de la Sablière Schott à Lingolsheim, les graviers würmiens, de faciès vosgien seulement, formant la masse de la Basse-Terrasse de Lingolsheim.

Je décrirai dans le chapitre suivant les graviers de la Basse-Terrasse dans la région de Mulhouse et étudierai dans quelle mesure on peut les attribuer à l'un ou l'autre de ces étages géologiques.

Chapitre VII

LA BASSE-TERRASSE DU RHIN DANS LA RÉGION DE MULHOUSE

La carte ci-contre (voir fig. 17), a été exécutée en relevant les courbes de niveau des cartes au 1/50.000 du Service Géographique de l'Armée de la région mulhousienne et en opérant une réduction photographique de l'ensemble. Elle permet d'apercevoir très facilement la division de la Basse-Terrasse en deux secteurs : secteur rhénan vers l'Est, secteur vosgien vers l'Ouest, grossièrement séparés par le cours de l'Ill.

Entre l'Ill et la basse plaine des alluvions modernes du Rhin, s'étend le vaste cône de déjection formé par des graviers très grossiers d'origine rhénane, c'est-à-dire pour une large part d'origine alpine. Le calcaire est particulièrement abondant dans toute cette masse alluviale. Le lent enfoncement d'origine tectonique du centre de la cuvette alsacienne, entre Colmar et Mulhouse, a permis l'accumulation d'une épaisseur de graviers croissant du Sud au Nord : 20 mètres d'alluvions séparent le sol actuel du toit du tertiaire à Istein, 40 mètres vers Hombourg, 150 mètres vers Blodelsheim, 280 mètres à Geiswasser. Ce lent effondrement s'est continué durant tous les temps quaternaires (Briquet, Théobald). Dans le chapitre précédent, nous avons montré que les lœss et lehms de la Moyenne-Terrasse sont à Sierentz à plus de 10 mètres au-dessus du niveau de la Basse-Terrasse, mais qu'à Pfastatt et au Hohrœderhübel, ce ne sont plus que les sommets des coteaux lœssiques anciens qui apparaissent, comme des îlots perdus au milieu des graviers débordant de la Basse-Terrasse. Au Nord du Hohrœderhübel, le submergement est complet, seuls règnent en surface les graviers de la Basse-Terrasse.

En certains points, les carrières creusées dans la masse des graviers de cette Basse-Terrasse permettent de se rendre compte de l'hétérogénéité des graviers qui la composent. Ils présentent en profondeur de véritables sols fossiles enterrés, fortement décalcifiés lorsqu'ils ont été constitués dans les graviers calcaires rhénans, simplement rubéfiés et plus ou moins argileux, lorsqu'ils sont inclus dans les graviers vosgiens.

Un beau sol enterré est visible à l'Ile Napoléon (voir photo 24, planche X) dans la grande gravière qui se trouve au voisinage et à l'Ouest de la station de transformation de l'Energie Electrique du Haut-Rhin. Ce sol, de plus d'un mètre d'épaisseur par place, entière-

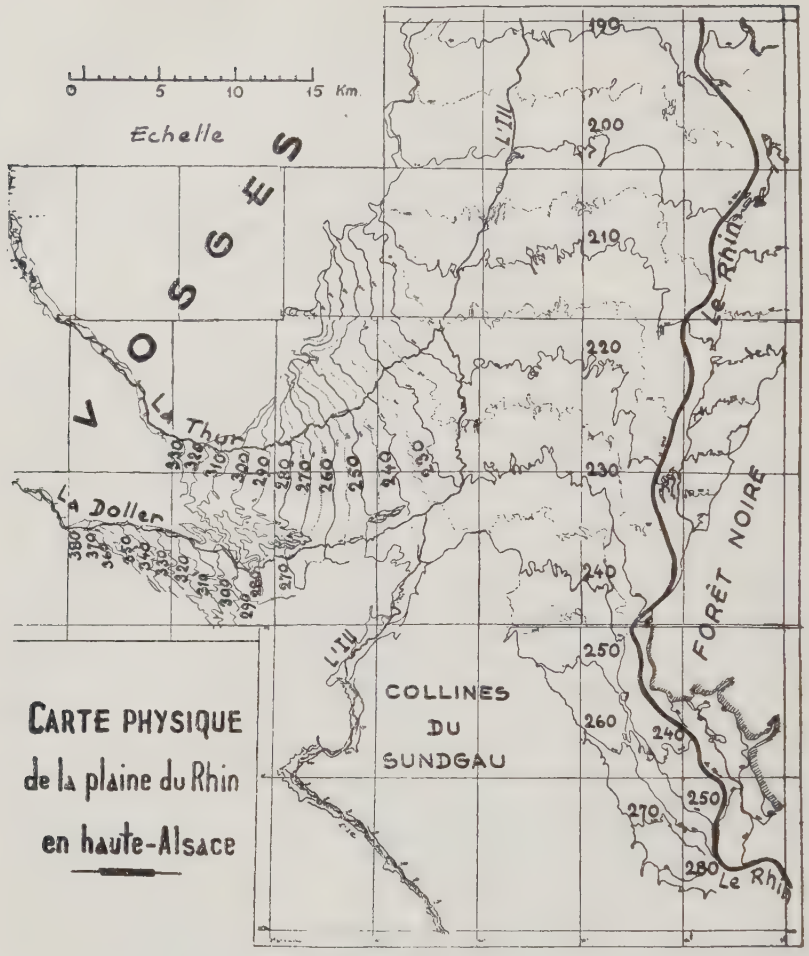


FIG. 17.

ment décalcifié et rubéfié, formé aux dépens de graviers rhénans très grossiers, se trouve à sept mètres de profondeur environ, enterré sous des graviers rhénans calcaires gris plus récents. Il est en ce point légèrement incliné vers le Sud ; vers le Nord, il a été complètement décapé par une érosion ancienne, lors de son envahissement par les eaux du Rhin qui ont déposé à sa surface les graviers supérieurs. En liaison avec ce sol enterré, décalcifié, éluvial, on aperçoit dans la même carrière, des blocs de *poudingue* à ciment calcaire très dur, liant des cailloutis rhénans grossiers ; c'est un horizon illuvial, pour le calcaire qui a été dissous autrefois dans le sol ancien qui le surmontait. Au Sud de l'Ile Napoléon, à l'Est de la route nationale qui mène

à Rixheim et à Bâle, un sol décalcifié rubéfié est également visible à 8 mètres de profondeur environ dans une profonde carrière de gravier en pleine exploitation.

Le sol enterré de l'Ile Napoléon ressemble beaucoup au sol décalcifié et rubéfié de la Moyenne-Terrasse de Sierentz; de plus, des blocs de poudingue calcaire dur sont visibles au flanc de la Moyenne-Terrasse vers Blotzheim et à Sierentz même.

On peut donc admettre que nous sommes, à l'Ile Napoléon, en présence de débris de la Moyenne-Terrasse effondrés et enterrés sous les graviers beaucoup plus récents de la Basse-Terrasse.

La surface des graviers würmiens qui forment la masse supérieure de la Basse-Terrasse, a été subdivisée par N. Théobald, entre Bâle et Mulhouse, en deux sous-terrasses principales qu'il a appelées A et B. La sous-terrasse supérieure A, très développée ici, porte la forêt de la Harth ; la sous-terrasse B, dominant la plaine des alluvions modernes et portant la route nationale de Neuf-Brisach à Bâle, est très étroite aux environs de Mulhouse, mais se développe largement dans la région de Colmar—Neuf-Brisach. Ce serait le prolongement des deux sous-terrasses distinguées en amont par J. Hug, entre Schaffhouse et Bâle.

Venant buter perpendiculairement, à l'Ouest, sur ce grand cône alluvial rhénan dont l'axe est dirigé Sud-Nord, on aperçoit très bien sur la carte, un second cône alluvial à pente beaucoup plus accentuée et dirigée Ouest-Est : c'est le delta de la Thur. Il est constitué par des graviers grossiers d'origine vosgienne, provenant de la vallée de Thann-Wesserling. L'hétérogénéité des alluvions vosgiennes de ce cône est également prouvée par l'existence de sols anciens rubéfiés et argileux enterrés dans ces alluvions siliceuses ; nous avons eu l'occasion d'en observer un à 5 mètres de profondeur dans une fouille ouverte à l'occasion de travaux effectués à la mine Marie-Louise à Staffelfelden. De tels sols ne peuvent être observés qu'accidentellement dans la partie inférieure du delta, lors de travaux spéciaux, en raison du peu de profondeur de la nappe phréatique en rapport avec le niveau des eaux de la Thur.

Le cône alluvial de la Doller est situé pour une part en amont et à l'Ouest de la région que nous étudions ; cette rivière se fraie ensuite un passage entre les derniers contreforts des coteaux lœssiques qui la séparent d'une part du delta de la Thur, d'autre part de la vallée de l'Ill.

L'Ill, enfin, est aujourd'hui, et était plus encore autrefois, une rivière beaucoup moins bien alimentée que les précédentes. Thur et Doller reçoivent en effet les eaux des régions très fortement pluvieuses et neigeuses des Hautes-Vosges et ont été jadis, au Würmien, les exutoires des importants glaciers qui occupaient alors une partie des vallées vosgiennes. Aussi l'Ill joue-t-elle un rôle tout à faire effacé dans la construction de la Basse-Terrasse, ses eaux, mêlées à celles

de la Doller, occupant simplement le fossé existant sur le front du delta de la Thur, à son contact avec les alluvions rhénanes.

L'absence du lœss sur la majeure partie de la Basse-Terrasse dans la région mulhousienne est un phénomène qui a fait couler autrefois beaucoup d'encre et provoqué bien des discussions entre les géologues.

Il est certain qu'à la fin des périodes glaciaires qui ont vu le dépôt des lœss, de violents courants d'eau provoqués par la fonte des derniers glaciers würmiens ont balayé dans la région qui nous occupe le cône alluvial du Rhin comme ceux de la Thur et de la Doller, entraînant presque entièrement le lœss éolien qui avait pu s'y déposer pendant les périodes sèches précédentes. Est-ce à dire qu'il ne reste aucune trace des lœss qui s'étaient déposés à leur surface? Nous avons vu que la haute vallée de l'Ill en amont de Mulhouse, et en raison de l'alimentation spéciale de son bassin supérieur, n'a pas été balayée comme les grands cônes alluviaux précédents par les crues de fonte des glaciers würmiens; or le plafond actuel de cette vallée est encore occupé par du lœss éolien typique, en place, dans lequel la rivière a creusé son cours. Ce lœss très fossilifère apparaît tout particulièrement dans les berges de l'Ill, entre Mulhouse et Brunstatt. En certains points, le lœss, plus ou moins raviné, est directement recouvert par les alluvions modernes de l'Ill. C'est le même phénomène que l'on observe plus au nord, entre Barr et Erstein, où les alluvions modernes des petits cours d'eau vosgiens s'étendent à la surface du lœss de la Basse-Terrasse en voie d'affaissement.

Sur les flancs de la haute vallée de l'Ill, le lœss de la Basse-Terrasse est recouvert d'éboulis calcaires provenant des pentes voisines fréquemment assez abruptes ; ce phénomène est bien visible dans une petite carrière située au pied du coteau, à l'est de la route entre Tagolsheim et Illfurth.

Sans doute partiellement protégée par l'îlot lœssique de Pfastatt contre les courants des eaux descendant des Vosges, une tache de lœss assez peu épaisse s'est maintenue à la surface des graviers vosgiens, entre Bourtzwiller et Kingersheim.

On l'observe facilement à la surface des carrières de graviers situées au Sud-Ouest de Kingersheim, à l'ouest de la route de Kingersheim à Bourtzwiller. On y voit, à la surface des graviers vosgiens, une couche assez peu épaisse de lœss jaune, calcaire, d'aspect éolien non stratifié, mais contenant cependant quelques rares cailloux roulés (voir photo 25, planche X). Ce lœss présente à sa surface un sol de lehm brun éluvial décalcifié et fortement lessivé, avec ses 3 horizons caractéristiques :

A — horizon éluvial entièrement décalcifié brun clair, très riche en sable fin ;

B — horizon illuvial très argileux de couleur ocre rougeâtre, entièrement décalcifié et à structure fortement prismatique ;

C — roche mère de lœss calcaire légèrement concrétionné dans sa partie supérieure avec tubes de racines calcifiés (voir analyse tableau XIV).

Cet ensemble rappelle beaucoup les sols de lehms sur lœss que nous avons décrit plus haut à la surface des graviers vosgiens de la Basse-Terrasse de Lingolsheim, aux environs de Strasbourg. Même position topographique et stratigraphique, même formation pédologique. Ici, comme à Lingolsheim, nous paraissons être en présence d'un lœss de formation mi-éolienne, mi-alluviale, déposé dans une zone fluviatile d'eau calme protégée par l'îlot de Pfastatt contre les courants d'eaux vosgiennes, par le horst des coteaux du Sundgau contre les eaux rhénanes. La similitude est accentuée par le fait que les graviers de la Thur contiennent ici des traces de solifluxion manifeste, comme ceux de la Bruche à Lingolsheim.

Il existe un autre lambeau de lœss déposé à la surface de la Basse-Terrasse, mais cette fois dans la vallée rhénane elle-même. Au pied du coteau de Sierentz formé, comme nous l'avons vu, par une Moyenne-Terrasse de graviers rhénans recouverte de lehms et de lœss qui donnent lieu à l'exploitation supérieure de la tuilerie, une seconde carrière a été ouverte pour l'exploitation d'une couche de lehm brun assez foncé décalcifié, atteignant environ 2 m. d'épaisseur et recouvert de lœss calcaire remanié entremêlé de couches de cailloutis. Ce lehm brun repose lui-même sur une couche de *lœss fluviatile calcaire* finement stratifié dont il représente au moins pour une part un horizon de lavage éluvial. A 30 ou 40 centimètres au-dessous de la surface de séparation et visible au bas de la coupe de la carrière, existe une

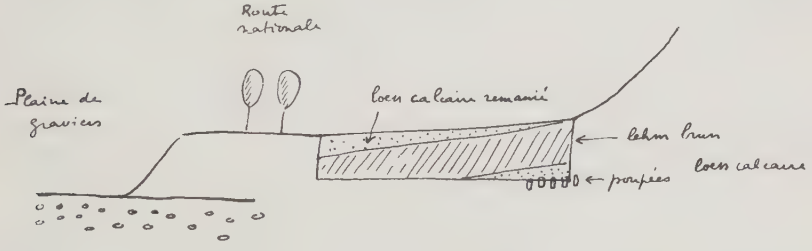


FIG. 18.
Coupe de la carrière inférieure de la Briqueterie de Sierentz.

ligne de *poupées calcaires* en place d'assez forte taille. Le lehm décalcifié constitue donc un ancien sol décalcifié (horizon A éluvial pour le calcaire), le lœss fluviatile inférieur représentant la roche-mère C, et les poupées calcaires un horizon B illuvial caractéristique.

Le lœss et les lehms reposent ici sur les graviers rhénans, qui ont été récemment atteints lors de travaux exécutés dans le sol de la route nationale, devant la briqueterie ; ces graviers se trouvent à 4 mètres de profondeur, sous la couche de lehm, qui forme une sorte de petite terrasse, dominant la plaine voisine.

Ce lœss contient la faune caractéristique du lœss : *Helix hispida*, *Pupa muscorum*, *Succinea oblonga*, mais il contient également une espèce de plus forte taille : *Helix arbustorum*.

Or, ces gros *Helix* ne se rencontrent généralement pas dans le lœss récent supérieur ; ils se trouvent seulement dans des lœss plus anciens, ainsi que nous l'avons vu précédemment dans la carrière haute de Sierentz et à Pfastatt. Je ne pense pas cependant qu'il faille pour cela attribuer le lœss que nous observons ici, en surface de la Basse-Terrasse, au Würmien inférieur ; sans doute sommes-nous en présence d'une simple *variété du faciès* de la faune du lœss récent. Sur les coteaux très secs, on ne trouvait, pendant la période à climat steppique du lœss récent, qu'une maigre végétation nourrissant avec peine une faune rare de petits mollusques ; dans la basse plaine mieux arrosée par les eaux d'inondation du Rhin alimenté par la fonte des glaciers alpins, une végétation arbustive plus vigoureuse permettait sans doute le développement d'une faune de mollusques à la fois plus abondante, plus variée, et de plus forte taille. Des trouvailles ultérieures nous renseigneront peut-être sur l'âge à attribuer définitivement à ce lœss.

La surface des graviers de la Basse-Terrasse, pendant la période du lœss récent et alors qu'elle était encore envahie périodiquement par les eaux de crue du Rhin, a donc vu se déposer à sa surface un lœss fluviatile (voir tableau XVI, analyse), d'origine partiellement éolienne. Enlevé ailleurs par les crues ultérieures du fleuve, ce lœss s'est conservé à Sierentz dans une légère crique de la falaise de la Moyenne-Terrasse ; il s'est décalcifié superficiellement durant la période climatique humide qui a suivi la période sèche de dépôt du lœss, et sans doute les produits de décalcification sur place se sont-ils trouvés ici, au pied même du coteau, accrus de produits de lavage des lehms formés sur les pentes dominantes voisines, ce qui explique et l'épaisseur anormale de la couche de lehm, et le peu de différenciation pédologique dans le sens vertical qui le caractérise ; nous serions donc ici en présence d'un lehm mi-éluvial, mi-colluvial. Ce lehm est lui-même enterré sous une épaisse couche de produits ultérieurs de ruissellement et d'éboulement formés de lœss faiblement décalcifié, en provenance des pentes voisines. Vers le bas ces produits de remaniement contiennent quelques lits de cailloutis rhénans. Ces lœss remaniés, faciles à distinguer du lœss fluviatile précédent, s'étendent d'ailleurs au pied des coteaux, et jusqu'à une certaine distance, à la surface des graviers de la Basse-Terrasse. Ils sont particulièrement épais au débouché des vallons qui entaillent le coteau, constituant, en face de chacun d'eux, une sorte de petit cône torrentiel dont le sol superficiel est formé de lœss calcaire faiblement différencié, se raccordant insensiblement avec les sols calcaires d'érosion, également peu différenciés, des pentes des coteaux lœssiques.

Des sols de lehms décalcifiés plus franchement alluviaux se trouvent à la surface des graviers rhénans de la Basse-Terrasse sur la rive droite de la vallée de l'Ill, où ils forment une sorte de petite terrasse un peu surélevée, courant du Nord au Sud, parallèlement au cours de la rivière. J'ai pu l'étudier à l'Ile Napoléon et aux environs d'Ensisheim. Les

TABLEAU XVI.

SOLS SUR LŒSS ET LEHMS DE LA BASSE-TERRASSE AUX ENVIRONS DE MULHOUSE.

ANALYSE PHYSIQUE % —	Sable grossier 2 m. à 0 m2.	Sable fin 0m.2 à 0m.02	Limon 0,20 à 0m.002	Argile inf. à 0 m. 002	Calcaire %	Sesqui-oxydes solubilisés	Humidité
Sol de lehm brun lessivé à Kingersheim :							
Sol de lehm éluvial A	2,0	57,0	23,4	14,7	0	1,2	1,7
Sous-sol de lehm illuvial B	0,5	42,7	20,2	30,5	0	2,1	4,0
Sous-sol de lœss C	0,8	46,0	14,8	7,7	26,1	3,6	1,0
Sol de lehm enterré — Carrière inf. de Sierentz :							
Lehm brun A	0,8	42,3	29,4	25,0	0	1,0	2,2
Lœss fluviatile C	0,3	42,8	20,7	6,7	28,0	1,3	0,8
Lehms alluviaux de l'Ile-Napoléon :							
Sol de lehm brun superficiel	2,5	39,0	30,2	26,0	0	1,1	1,0
Lehm noir argileux	2,5	38,1	16,0	38,0	0	1,4	4,0

cartes géologiques de Fœrster n° 130 et n° 131, Mülhausen-West et Mülhausen-Ost, confondent, sous la dénomination j l : « Lehm und Schlick auf jüngeren Schottern », ces lehms alluviaux de la rive droite avec le véritable lœss superficiellement lehmifié que nous avons décrit plus haut, sur la rive gauche, à l'Ouest de Kingersheim. Au point de vue pédologique, nous sommes en présence de deux formations absolument différentes.

Dans la carrière de l'Ile Napoléon, dont nous avons déjà parlé, nous observons de haut en bas, à la surface des graviers grossiers rhénans, la succession suivante :

1° *lehm brun* léger, peu argileux, formant le sol actuel.

2° lehm brun argileux, remanié contenant vers le bas d'abondants cailloutis, et passant à un *lehm noir* très fortement argileux, fendillé, avec rares cailloux roulés ;

3° lentilles de *sable calcaire* jaunâtre assez grossier ;

Le tableau XVI donne l'analyse du lehm noir argileux et du lehm brun supérieur. Le lehm noir avec sa légère teneur en sable grossier et sa très haute teneur en argile (38,0 %) rappelle beaucoup le lehm noir que nous avons observé, en position analogue, dans la plaine de l'Ill, au nord de Strasbourg, au voisinage du Fort Ney (voir tableau V). Là, le lehm noir était enterré sous des alluvions calcaires modernes d'origine plus ou moins lœssique. L'analyse du lehm brun formant sol superficiel indique une forte diminution de l'argile avec enrichissement en limon.

Nous avons donc ici une succession parallèle à celle observée dans les lehms de la région de Hœnheim—Souffelweyersheim :

PÉRIODES GÉOLOGIQUES	Région de Strasbourg	Région de Mulhouse-Basse-Terrasse
Flandrien supérieur ...	lœss calcaire de remaniement	lœss de remaniement au pied des coteaux
Flandrien moyen	lehm brun	lehm brun
Flandrien inférieur ...	lehm noir	lehm noir
	marne jaune alluviale	sable calcaire à la surface de la Basse-Terrasse
Würmien III	lœss récent supérieur	lœss récent (Kingersheim)

Les sables calcaires occupent une place importante à la surface des graviers grossiers de la Basse-Terrasse ; ils se situent surtout dans les fonds de dépression ou dans les anciens bras du fleuve. Il m'a été permis de les étudier particulièrement, ainsi que les autres formations superficielles et les sols de la Basse-Terrasse, grâce aux travaux exé-

cutés pendant l'hiver 1931-1932 par la Société Auxi-Mines, pour l'établissement d'un pipe-line destiné à l'évacuation au Rhin des eaux résiduaires des Mines de Potasse d'Alsace. Ce pipe-line, après avoir franchi l'Ill au sud d'Ensisheim, traverse en direction Ouest-Est la Basse-Terrasse du Rhin, au sud de Munchhouse, passe à mi-chemin des villages de Blodelsheim et Rumersheim, et atteint le fleuve à la cote 206.45 (voir carte fig. 19).

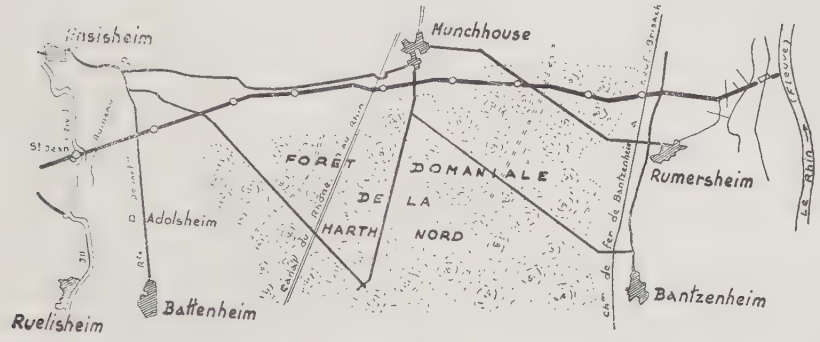


FIG. 19.

Plan du Pipe-line des mines de Potasse à travers la Basse-Terrasse du Rhin.

Après avoir franchi l'Ill à la ferme St-Jean, où l'on peut observer les alluvions modernes de cette rivière, le pipe pénètre dans un talus formé par les lehms que nous avons décrits à l'Ile Napoléon. Dans toute la tranchée allant de ce talus jusqu'au delà de la route nationale d'Ensisheim à Battenheim, j'ai pu observer la couche de lehm noir alluvial fortement argileux recouvert de lehm brun. Dans cette région les alluvions vosgiennes s'avancent à l'est du cours actuel de l'Ill, sous la couche de lehm alluvial, jusqu'au pied d'un bombement situé entre la route nationale et la route I C 4 *bis*. Ce bombement est formé d'alluvions rhénanes surmontées d'une couche de sable calcaire ; c'est sur lui que viennent s'appuyer les lehms noirs enterrés de la plaine de l'Ill.

Le pipe-line traverse ensuite la grande croupe des graviers rhénans de la Basse-Terrasse, qui sépare la plaine de l'Ill de celle du Rhin et dont une partie est occupée par la forêt de la Harth. Toute cette vaste surface alluvionnaire qui, à première vue, semble relativement horizontale et homogène, est, en réalité, morcelée par une série de vallonnements, très visibles lorsqu'on parcourt les routes qui traversent la forêt d'Est en Ouest. Ces vallonnements sont dus, d'abord, à la topographie assez enchevêtrée et au déplacement des anciens bras du Rhin, auxquels nous devons en particulier la présence de talus disposés Nord-Sud à la surface de la Basse-Terrasse. Ces talus

continus, mais de hauteur et d'inclinaison variables, suivant qu'ils représentent d'anciennes rives convexes ou concaves, sont bien connus sous le nom de rideaux de la Harth (en allemand Hardt-Rain). Ils ont été figurés par Fœrster sur sa carte géologique sous le nom de Terrassenrand. Une autre cause très importante de dénivellation topographique sur la Basse-Terrasse a été tout récemment signalée par Jung et Schlumberger : il s'agit de soulèvements provoqués par la présence de diapirs ou dômes de sel dans le sous-sol oligocène sur lequel reposent les alluvions quaternaires rhénanes. Certains de ces dômes de sels disposés en véritables anticlinaux, suivant d'anciennes cassures ou failles de direction rhénane ou perpendiculaire à celle-ci, ont soulevé le toit du tertiaire à tel point, qu'à Hettenschlag en particulier, les marnes tertiaires ne sont plus localement recouvertes que par 10 mètres d'alluvions. De tels soulèvements du tertiaire dans la région de Ruestenhart-Meyenheim, se traduisent par un soulèvement nettement visible de la surface topographique actuelle des alluvions ; ce soulèvement tend, en certains points et jusqu'à un certain point, à contrecarrer l'effondrement général, dû à des causes orogéniques plus vastes, qui, de tout temps, a affecté le centre de la cuvette rhénane alsacienne, effondrement auquel nous devons en particulier la présence des gisements potassiques. D'après ces auteurs, ce serait à l'existence du soulèvement Ruestenhart-Marckolsheim que serait due la séparation des vallées de l'Ill et du Rhin, et aussi le creusement de toute une série de vallons d'érosion récents dans la surface de la Basse-Terrasse (jüngere Auswaschungsrinne de Fœrster).

Mes propres observations corroborent en beaucoup de points cette manière de voir.

Les sols superficiels de la Basse-Terrasse offrent en effet de très grandes variations de faciès sur des distances souvent très faibles, variations intimement liées au *microrelief* actuel.

Au point de vue roche-mère, les sols sont constitués aux dépens soit de graviers très grossiers d'origine en majorité alpine, légèrement mêlés de graviers provenant de la Forêt-Noire ou du Jura, soit de sables fluviatiles qui occupent les anciens bras du fleuve. Ces sables fluviatiles, que nous avons déjà rencontrés à l'Ile Napoléon, paraissent s'être déposés lors de la période de ruissellement intense qui a suivi la période sèche de dépôt du dernier lœss récent.

La surface des bancs de graviers, qui forment des îlots très étendus, et celle des sables fluviatiles sont d'une façon presque générale caractérisées par une décalcification complète des horizons supérieurs, avec lessivage et éclaircissement de la teinte du 1er sous-sol (A) et apparition au-dessous, d'un horizon illuvial argilo-ferrugineux assez fortement teinté de rouge (B_1). Les pédologues allemands ont donné à ces sols le nom de « rostfarbene Waldböden ». Ce sont des sols bruns fortement lessivés, où le phénomène de lessivage podzolique est plus intense que dans les sols de lehm précédemment étudiés en raison du faible pouvoir tampon de ces sols de graviers grossiers, pauvres en colloïdes

argileux. Voici le profil relevé à quelques 25 mètres à l'Est de l'allée centrale de la Forêt de la Harth, dans la tranchée du pipe-line (voir fig. 20 et photographie 26, planche XI).

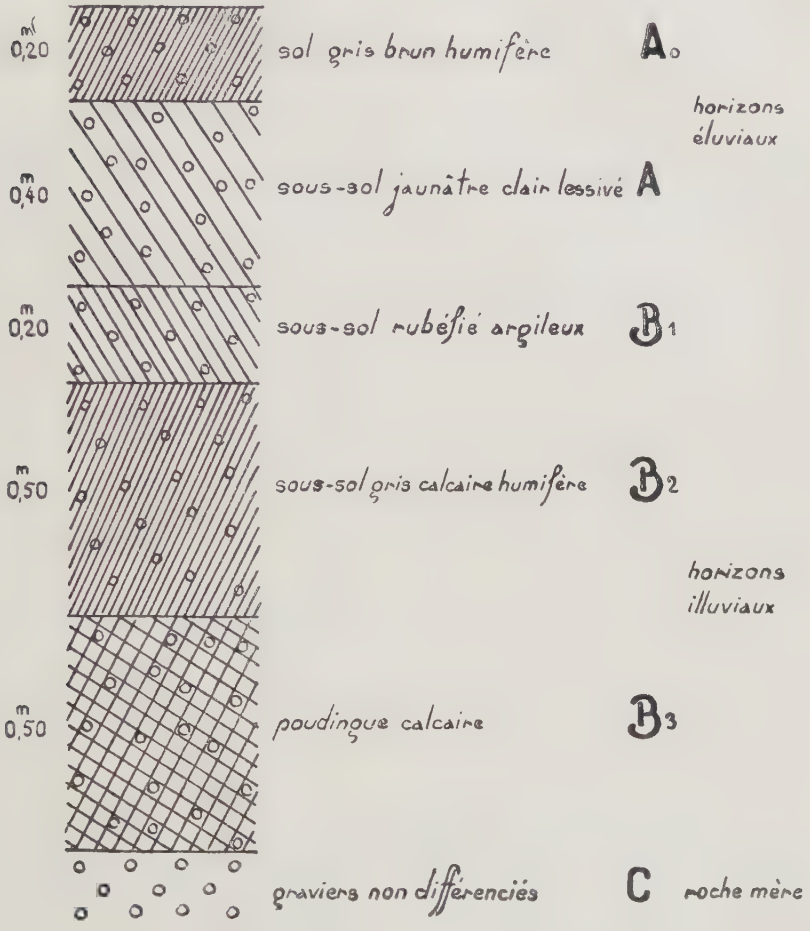


FIG. 20.

Sol brun lessivé sur graviers du niveau A de la Basse-Terrasse du Rhin (forêt de la Harth).

De haut en bas :

A^0 — 0 m. 20 : sol supérieur gris brunâtre caillouteux humifère
A — 0 m. 40 : sous-sol jaunâtre clair caillouteux
B^1 — 0 m. 20 : sous-sol rouge ocreux, caillouteux, argilo-ferrugineux.
B^2 — 0 m. 50 : sous-sol calcaire grisâtre caillouteux
B_3 — 0 m. 50 : poudingue calcaire légèrement consolidé
C — 0 m. : gravier boulant gris.

Le sol superficiel A_0 est constitué par une couche de terre gris brunâtre, humifère, contenant d'abondants cailloux constitués exclusivement par des roches siliceuses : quartz blanc laiteux, grès, granite, parfois roches spongieuses très légères représentant le squelette d'anciens grès calcaires dont ne subsiste que la trame siliceuse. Le premier sous-sol A jaunâtre, de couleur claire, éluvial, est un peu plus caillouteux que le sol, il passe vers le bas, vers 0 m. 60 de profondeur, à un second sous-sol argileux et ferrugineux, de couleur ocre rouge, tachant les doigts à l'état mouillé ; ici les galets siliceux et surtout les anciens grès calcaires décalcifiés sont fortement imprégnés de matière ferrugineuse. C'est nettement un premier horizon illuvial B_1 enrichi, aux dépens des horizons supérieurs, en éléments ferrugineux et argileux. Au-dessous, second horizon illuvial B_2 de couleur grise, riche en fine poussière calcaire et en matières humiques noirâtres. Les cailloux calcaires, à ce niveau, n'ont pas subi de dissolution ou parfois ils n'ont subi de dissolution que sur leur face supérieure, la face inférieure portant au contraire des concrétions calcaires blanches (voir photo 27, planche XI).

Vers le bas, les concrétions calcaires finissent par se rejoindre pour occuper tout le vide entre les cailloux et former un véritable poudingue calcaire d'épaisseur variable, atteignant parfois 0,50 m. (3° horizon illuvial B_3).

Au-dessous, les graviers rhénans gris sont intacts et boulants. C'est la *roche-mère* C.

On y observe cependant, mais irrégulièrement, un horizon de cailloux recouvert de poussière noirâtre tachant fortement les doigts, c'est un quatrième horizon illuvial B_4 : l'horizon à manganèse.

Nous avons effectué les analyses physique et chimique d'échantillons prélevés à divers niveaux dans la coupe de ce sol forestier (voir tableau XIX).

Ces analyses nous ont montré les phénomènes suivants :

Le sous-sol inférieur est extrêmement riche en cailloux grossiers restant au tamis de 2 mm. (90 % environ du poids total), la terre fine prend au contraire de plus en plus d'importance au fur et à mesure qu'on s'élève vers la surface. Les cailloux n'occupent plus que 22,9 % du poids total de la terre du sol superficiel.

La terre superficielle et les premiers sous-sols sont décalcifiés. Si leur teneur en sable grossier n'augmente guère, *la teneur en limon et surtout en sable fin* des niveaux A° et A croît dans des proportions considérables. La teneur en argile, par contre, présente son maximum en B_1, qui est précisément l'horizon illuvial ferrugineux. C' est donc bien à la fois un horizon illuvial pour le fer et pour l'argile.

Cette manière de voir est parfaitement confirmée par les résultats de *l'analyse chimique* qui nous montre :

A_0 et A : enrichis en *silice*, niveaux éluviaux podzoliques typiques.

B_1 : enrichi en *fer et alumine* à la fois par rapport aux horizons inférieurs et par rapport à l'horizon supérieur lessivé : c'est l'horizon *illuvial* pour le fer et l'alumine.

B_2 : enrichi en *calcaire*, c'est l'horizon illuvial pour le calcaire, plus encore que l'horizon B_2 poutant consolidé en poudingue.

Tableau XVII.

RÉSULTATS DE L'ANALYSE DES ÉCHANTILLONS DE TERRE DE LA FORÊT DE LA HARTH — SOL DE CAILLOUTIS — CHEMIN DE BLODELSHEIM.

ORIGINE DES ÉCHANTILLONS	Sol superficiel humifère A_0	1er S/Sol jaunâtre A	2e S/Sol rubéfié B_1	3e S/Sol humifère calcaire B_2	4e S/Sol poudingue calcaire B_3
PROFONDEUR		0 m. 40	0 m. 70	1 m 00	1 m 50
Finesse de la terre % :					
Eléments fins (inf. à 2 mm.)	77,1	43,1	37,6	9,3	8,2
Eléments grossiers	22,9	56,9	62,4	90,7	91,8
Analyse physique de la terre fine :					
Sable grossier (2 mm. à 0 mm. 2)	43,2	44,9	38,0	—	—
Sable fin (0 mm. 2 à 0 mm. 02)	25,3	26,1	14,7	—	—
Limon (0 mm. 02 à 0 mm. 002)	15,0	15,0	7,6	—	—
Argile (inf. à 0 mm. 002)	12,2	12,0	35,2	—	—
Humidité	1,3	0,8	3,4	—	—
Eléments solubilisés	3,0	1,2	1,1	—	—
Analyse chimique de la terre fine :					
Silice en SiO^2 %	82,4	85,7	68,9	30,6	49,9
Fer en Fe^2O^3 %	0,9	1,4	4,2	1,3	1,2
Alumine en Al^2O^3 %	6,7	7,5	13,4	2,3	3,2
Chaux en CaO %	0,9	1,2	1,2	32,2	25,2
Perte au feu %	6,8	3,2	5,5	28,7	19,2
Analyse agronomique de la terre fine :					
Réaction	acide	acide	légt alcal.	—	alcal.
pH	5,8	5,7	7,3	—	8,0
Azote total °/oo	1,70	0,60	0,55	—	0,58
P^2O^5 total °/oo	0,49	0,27	0,68	—	—
K^2O totale °/oo	0,06	0,90	2,46	—	—
P^2O^5 assimilable °/oo	0,04	0,02	0,04	—	—
K^2O assimilable °/oo	0,09	0,08	0,12	—	0,06

L'*analyse agronomique* nous montre le même phénomène pour les éléments moins abondamment représentés et non visibles sans le concours de l'analyse : Azote, acide phosphorique et potasse.

Le sol superficiel A_0, humifère, est très riche en Azote, et légèrement enrichi en P^2O^3 et K^2O par rapport à son premier sous-sol A.

Ce dernier est le plus fortement lavé de P^2O^5 et K^2O.

Le second sous-sol B_1 se montre très nettement enrichi en P^2O^5 et K^2O, lessivés des horizons supérieurs A et fixés par l'argile en B_1,

Au *point de vue réaction*, notons l'acidité très nette des horizons décalcifiés supérieurs (pH 5,7) et l'alcalinité du niveau calcaire (pH 8).

C'est là un fait assez général dans la forêt de la Harth.

Une série de prélèvements effectués par nous le long de la route de Petit-Landau à Habsheim, dans la forêt de la Harth Sud, nous avait donné les pH suivants :

Tableau XVIII.

ANALYSE DES SOLS PRÉLÈVES DANS LA FORET DE LA HARTH SUD SUR LA ROUTE DE PETIT-LANDAU A HABSHEIM.

ORIGINE DES PRÉLÈVEMENTS	pH	FINESSE DES ÉLÉMENTS	
		fins 2 mm.	grossiers 2 mm.
Parcelle 136 H. S.....	5,0	83,0	17,0
Parcelle 141 »	5,2	95,4	4,6
Parcelle 144 »	5,5	34,0	66,0
Parcelle 145 »	5,0	73,0	27,0
Parcelle 134 »	5,4	37,8	62,2
Parcelle 147 »	5,6	41,3	58,7

Revenons maintenant à la tranchée du pipe-line. Avançant vers l'Est, nous avons rencontré une première dépression en quelque sorte fossilisée, bien visible sur la tranche de la coupe mais invisible superficiellement (photo 28, planche XII). Le fond de cette dépression était occupé par du sable jaunâtre calcaire passant superficiellement à un limon rouge décalcifié, ce dernier en rapport latéral avec l'horizon rubéfié des graviers voisins.

Au delà vers l'Est, changement complet de décor. Les graviers gris calcaire apparaissent en surface sur une certaine longueur *sans être surmontés d'aucune couche rouge*. Ils ont subi seulement une légère décalcification superficielle. Puis, plus loin, la couche rouge reparaît, d'abord peu épaisse, puis prenant plus d'ampleur, et peu à peu surmontée des niveaux éluviaux supérieurs jaunâtres et gris bruns. Nous observons là le résultat d'un phénomène d'*érosion*, qui a fait disparaître sur une assez large surface l'ancien sol brun forestier ; celui-ci reparaît ensuite par sa *tranche* sur une longueur atteignant plus d'une centaine de mètres.

Nous rencontrons, plus loin, une vaste dépression, cette fois bien visible topographiquement, et creusée dans le socle des graviers (voir photo 29, planche XII) ; sa rive Ouest forme un véritable rideau ; sa rive Est se raccorde presque insensiblement au niveau général des graviers. Cette dépression représente la section d'un ancien bras du fleuve jadis comblée par les sables et partiellement entamée par une érosion plus récente. C'est ce que Förster, sur sa carte géologique, désigne par « Jüngere Auswaschungsrinnen ».

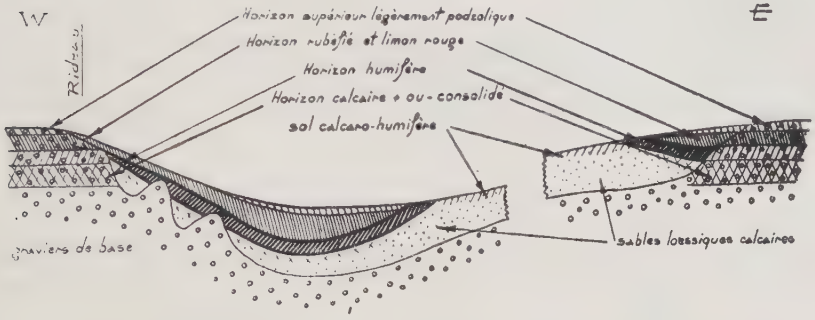


FIG. 21.

Coupe des sols d'une dépression de la Forêt de la Harth (à l'Est du chemin de Blodelsheim).

Voyons comment se présente la coupe pédologique d'un pareil accident de terrain.

La rive Ouest, taillée directement à même le gravier, est recouverte par un véritable limon rouge de ruissellement qui vient enterrer, au fond de la dépression, un horizon noir fortement humifère et encore calcaire, qui paraît constituer un ancien sol de végétation à la surface du sable calcaire (photo 30, planche XIII). Le limon rouge qui a ruisselé sur la rive Ouest forme au fond de la dépression une couche très épaisse qui, à sa partie supérieure, est teintée en brun par l'humus forestier ; on peut donc le considérer comme une véritable alluvion continentale, ou colluviale, occupant une pente faiblement exposée aux vents pluvieux et le fond de la dépression correspondante.

La rive Est, exposée au contraire à la pluie et aux vents humides, porte un sol calcaire d'érosion relativement peu différencié, formé aux dépens des sables fluviatiles sous-jacents (photo 31, planche XIII).

L'analyse du sol de limon décalcifié (voir tableau XIX) du fond de la dépression indique qu'il a subi postérieurement à sa mise en place, un lavage superficiel des colloïdes argileux, avec constitution d'un sol éluvial surmontant un sous-sol illuvial, assez fortement teinté en rouge.

L'ancien sol enterré inférieur noir, riche en humus et en azote, est lui-même nettement décalcifié par rapport au sable sur lequel il

Tableau XIX.

ANALYSE DES ÉCHANTILLONS DE SOL ET SOUS-SOL PRÉLEVÉS DANS UNE DÉPRESSION DE LA HARTH.

ORIGINE PROFONDEUR HORIZONS PÉDOLOGIQUES	Sol gris 0,m.10 A_0	1er Sous-Sol rougeâtre 0,m.60 B_1	2e Sous-Sol noir 1,m.10 B_2	3e Sous-Sol sable gris jaunâtre 1,m.80 B_3
Analyse physique :				
Sable siliceux grossier (2 mm. à 0 mm. 2)	30,1	24,9	16,3	6,4
Sable siliceux fin (0,02 à 0,02 mm.)	32,6	31,6	26,7	33,2
Limon (0 mm 02 à 0 mm 002)	14,0	13,7	11,1	8,0
Argile (inf. à 0 mm 002)	19,6	27,0	18,2	7,2
Calcaire	—	—	25,0	43,0
Humidité	2,1	2,5	1,9	0,6
Analyse chimique :				
pH	7,3	5,7	8,0	8,1
Azote total ‰	1,35	0,35	1,03	0,23

repose. C'est, semble-t-il, le sol initial formé à la surface des alluvions, lors de l'émersion de la Basse-Terrasse. Cette émersion, due, pour une part tout au moins, selon Jung et Schlumberger, à un diapir des couches salines sous-jacentes, aurait provoqué, nous l'avons vu, le dépôt par l'Ill, isolée à ce moment du Rhin, des couches de lehm noir alluvial de sa rive droite. Postérieurement l'accentuation du soulèvement au centre de la Basse-Terrasse aurait provoqué d'une part des phénomènes d'érosion dont témoignent les sols calcaires peu évolués de la Harth (voir analyses, tableau XX), d'autre part le rejet vers l'ouest du cours actuel de l'Ill, abondonnant vers l'est la terrasse des lehms alluviaux, déposés partiellement sur alluvions vosgiennes. Les lehms noirs argileux enterrés au bord de l'Ill et les sols noirs, calcaires, enterrés dans les dépressions de la forêt de la Harth, paraissent donc dater de la même époque, qui a suivi l'émersion des graviers de la Basse-Terrasse.

D'après ce que nous avons vu dans la région de Hœnheim, cette émersion aurait eu lieu pendant le cours du Néolithique.

L'existence de sols d'érosion encore calcaires et peu évolués est un phénomène assez répandu dans la forêt de la Harth. Nous l'avons observé pour la première fois dans la parcelle 380 HN, à l'occasion d'essais d'engrais tentés pour le compte des Services des Eaux et Forêts et nous avions été très surpris, à l'époque, de trouver ces sols calcaires et à réaction alcaline, au milieu des sols acides si abondants dans la Harth. L'érosion ascendante partant d'une part du centre de la cuvette alsacienne vers le Nord, et du bord Est de la Basse-

Terrasse d'autre part, explique la multiplication de ces sols d'érosion calcaire dans la Harth Nord et au voisinage de la lisière Est de la forêt. La forêt de la Harth Sud a été moins touchée par cette érosion ; les sols y sont plus régulièrement évolués et acides. On s'y trouve également plus loin des dômes de sels, surtout abondants dans la région de Hettenschlag, dont l'action sur l'érosion récente de la Basse-Terrasse serait considérable.

Notons, au point de vue forestier, que les sols bruns les plus évolués, décalcifiés sur une forte épaisseur et dont le sous-sol illuvial est enrichi en colloïdes argileux à fort pouvoir de rétention pour l'eau et les matières fertilisantes, sont de beaucoup ceux où la végétation forestière est la plus vigoureuse et la plus saine. Les sols d'érosion calcaires, secs, pauvres en colloïdes et envahis par les lapins qui y creusent plu facilement leurs terriers, sont au contraire ceux où les arbres restent le plus chétifs.

Tableau XX.

RÉSULTATS D'ANALYSE D'UN SOL CALCAIRE PEU ÉVOLUÉ SOUS FORÊT DE LA HARTH.

DÉSIGNATION DES PRÉLÈVEMENTS ET PROFONDEUR	Sol noirâtre 0 m 10	1er Sous-Sol brun 0 m 40	2e Sous-Sol jaune 0 m 90
Finesse %:			
Eléments grossiers (sup. à 2 mm.)	0,8	0,7	0,7
Eléments fins	99,2	99,3	99,3
Analyse physique de la terre fine %:			
Sable siliceux grossier (2 mm. à 0 mm. 2)	45,6	48,4	68,3
Sable siliceux fin (0 mm. 2 à 0 mm. 02)	22,2	17,9	6,1
Limon (0 mm. 2 à 0 mm. 002)	7,0	6,4	2,6
Argile (inf. à 0 mm. 022)	10,5	7,2	1,6
Humidité	1,2	0,7	0,2
Eléments solubilisés, dont le calcaire	13,5	19,4	21,2
Analyse chimique:			
Silice en SiO^2 %	69,8	68,2	71,9
Alumine en Al^2O^3 %	6,6	4,2	5,2
Fer en Fe^2O^3 %	2,2	4,6	1,6
Chaux en CaO %	7,2	11,0	11,0
Analyse agronomique:			
Réaction	alcal.	alcal.	alcal.
pH	7,7	8,0	8,3
Azote total °/oo	2,05	1,00	0,20
P^2O^5 total °/oo	0,43	0,99	0,74
K^2O total °/oo	1,27	1,29	—
P^2O^5 assimilable °/oo	0,24	0,30	0,23
K^2O assimilable °/oo	0,10	0,07	0,05

Certaines zones de ce genre, particulièrement déshéritées et où les arbres prennent un aspect rabougris tout à fait caractéristique, sont connues des forestiers sous le nom de « eichins ». Notons, pour en terminer avec cette question, que nulle part dans la forêt de la Harth nous n'avons eu l'occasion de rencontrer d'alios, ni de sol fortement podzolique. Contrairement à la figure en couleur donnée par Erhart dans son « Traité de pédologie », les racines des arbres prennent ici leur développement maximum dans l'horizon illuvial argilo-ferrugineux, le plus riche au point de vue physique et chimique, et s'arrêtent au contact de la roche-mère formée de graviers calcaires parfois agglomérés en un poudingue friable.

La zone externe de la Basse-Terrasse qui se trouve aujourd'hui en dehors de la Forêt de la Harth, entre la lisière Est de celle-ci et la route nationale de Neuf-Brisach à Bâle, est celle qui a subi l'érosion de beaucoup la plus intense ; l'érosion des sols y a été encore accentuée par le défrichement et la culture. Elle constitue le niveau inférieur B de la Basse-Terrasse de Théobald.

Ce ne sont plus des sols bruns lessivés à profil A, B, C, avec horizons éluviaux et illuviaux bien différenciés, qui occupent ici le sommet des croupes de graviers, mais des sols bruns à peine ou incomplètement décalcifiés, formés parfois directement aux dépens d'anciens horizons illuviaux de poudingue calcaire, ayant appartenu à des sols plus évolués, aujourd'hui détruits. On observe parfois une nouvelle migration du calcaire avec apparition d'un horizon illuvial secondaire au-dessous de l'ancien poudingue calcaire.

Immédiatement à la sortie de la forêt, le pipe-line traverse une dernière dépression occupée par le canal d'irrigation de la Harth, nous retrouvons ici à la surface du sable calcaire qui occupe le fond de l'ancien bras du fleuve, un ancien sol noir encore calcaire enterré sous des limons rougeâtres de ruissellement entièrement décalcifiés, descendus des pentes voisines et formés par la destruction partielle des sols bruns évolués qui les surmontaient (voir photo 33, planche XIV et analyses, tableau XXI).

Plus à l'Est, dans les dépressions du niveau inférieur B de la Basse-Terrasse (photo 34, planche XV) ces limons rougeâtres superficiels n'existent plus ; les sols actuels à la surface des sables alluviaux sont constitués directement par des sols noirs humifères épais plus ou moins complètement décalcifiés. Ces sols ne présentent plus l'aspect de sols fortement lessivés et rubéfiés qui dominaient sous forêt, mais celui de sols de caractères substeppiques, nés d'une végétation herbacée, et que l'on peut désigner sous le nom de pseudo-tchernozioms Ils présentent un profil A C caractéristique avec un horizon A, partiellement lessivé de son calcaire et teinté fortement par l'humus, et un horizon C formé par le sable calcaire alluvial. Ces sols prennent un développement considérable vers le centre de la dépression colmarienne dans la région dite du Ried, où ils s'étendent non seulement à la surface des sables alluviaux, mais encore sur les lœss.

TABLEAU XXI.

RÉSULTATS D'ANALYSE DE SOLS ET SOUS-SOLS DES NIVEAUX A ET B DE LA BASSE-TERRASSE.

ORIGINE	SOL BRUN (NIVEAU A)				NIVEAU B
	Sol brun noirâtre superficiel	1er Sous-Sol brun rougeâtre	2e Sous-Sol noir	3e Sous-Sol jaunâtre clair	Sol noir (pseudo-tchernoziom)
Analyse physique de la terre fine %:					
Sable grossier (2 mm. à 0 mm. 2)	26,9	22,8	2,8	5,7	—
Sable fin (0,2 à 0,02 mm.)	30,6	31,3	20,3	28,9	—
Limon (0,02 à 0,002 mm.)	14,5	17,7	17,5	10,0	—
Argile (inf. à 0,002 mm.)	25,0	27,0	19,0	9,0	—
Sesquioxydes solubilisés (Fe^2O^3 Al^2O^3)	0,6	0,7	1,2	1,2	—
Humidité	2,0	2,0	1,6	0,7	—
CO^3Ca	—	—	36,0	45,0	11,0
Analyse agronomique de la terre fine:					
Réaction	alcal.	alcal.	alcal.	alcal.	alcal.
pH	7,3	7,45	7,85	7,9	7,5
Azote total °/oo	1,25	—	—	—	1,30
P^2O^5 total °/oo	0,72	0,39	—	0,59	0,84
K^2O total °/oo	1,75	1,70	—	0,77	2,32
P^2O^5 assimilable °/oo	0,06	0,03	0,17	0,30	0,26
K^2O assimilable °/oo	0,10	0,10	0,05	0,14	0,09

Un beau profil de sol noir de ce genre, à aspect de pseudo-tchernoziom, est visible à la surface du sable calcaire dans la carrière de graviers située à l'Ouest de la route nationale à l'applomb du village de Rümersheim.

Le profil du sol se simplifie encore si nous descendons le dernier talus qui, à l'est de la route nationale, sépare les croupes du niveau inférieur B de la Basse-Terrasse de l'ancienne plaine d'inondation du Rhin, dite plaine des *alluvions modernes*, aujourd'hui mise à l'abri des incursions des eaux du fleuve par un double système de digues.

La majeure partie des sols des alluvions modernes est constituée aux dépens d'une couche épaisse de limon fluviatile sableux, jaunâtre, calcaire, atteignant en général plus de 2 mètres d'épaisseur et reposant à la surface de graviers grossiers. En certains points, des îlots de cailloutis percent la couche de limon. Ces cailloutis sont absolument frais en surface, ne présentant aucune différenciation pédologique autre que la présence superficielle d'humus et de matière organique.

Les sols, à la surface de ces alluvions, sont donc très faiblement différenciés par rapport à leur sous-sol. Il n'est pas possible de distinguer ici de niveau *éluvial*, c'est-à-dire ayant subi une dissolution chimique des éléments les plus solubles (carbonates) ou un lessivage physico-chimique des colloïdes. Il n'y a pas non plus de niveau *illuvial*, ou d'accumulation, entre le sol superficiel et la roche-mère intacte. Le sol superficiel (A^o) diffère seulement du limon inférieur (roche-mère C) par sa teinte noirâtre, due à l'accumulation d'humus, teinte qui va en s'éclaircissant vers 0,30 m. de profondeur, avec passage graduel au limon jaunâtre clair.

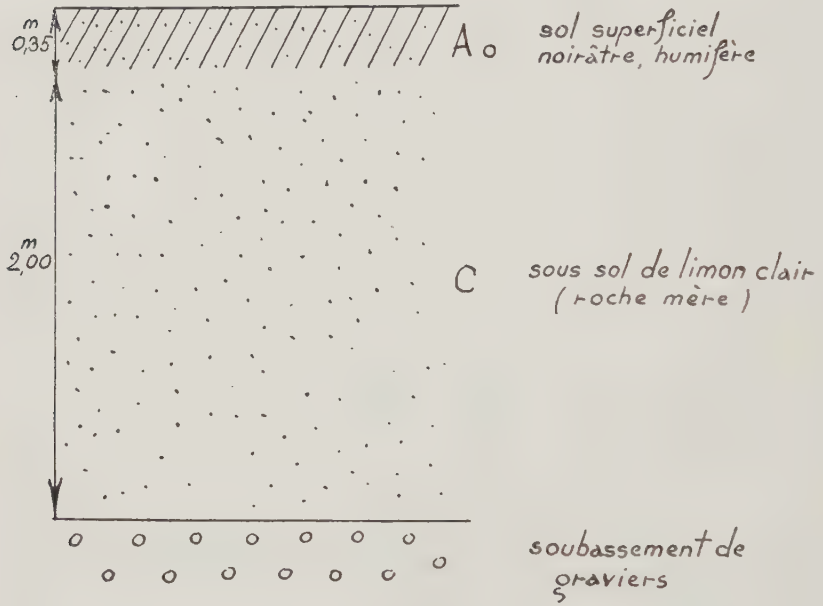


FIG. 22.
Profil de sol sur alluvions modernes du Rhin.

Lorsque la couche de limon est d'épaisseur très faible, à la surface d'un îlot de gravier, elle est entièrement teintée en noir par l'humus ; quant aux graviers sous-jacents ils sont à peine brunis et leurs éléments minéralogiques présentent une remarquable fraîcheur, y compris les calcaires.

Les résultats du tableau XXII portent sur des échantillons prélevés à diverses profondeurs sur une même verticale, dans la tranchée du pipe-line, au voisinage de la première rangée d'arbres rencontrée dans la basse plaine et parallèle à la route nationale de Neuf-Brisach à Bâle.

TABLEAU XXII.

ANALYSE DES SOLS DE LA PLAINE D'ALLUVIONS MODERNES.

ORIGINE ET PROFONDEUR	Sol brun superficiel	S/Sol jaunâtre à 0,60 m.	S/Sol blanchâtre à 1,80 m.
Finesse %:			
Elém. grossiers (sup. à 2 mm.) ..	0	0	0
Eléments fins	100	100	100
Analyse physique de la terre fine:			
Sable siliceux grossiers (2 mm. à 0 mm. 2)	17,1	9,5	28,2
Sable siliceux fins (0,2 à 0,02 mm.)	34,1	33,7	37,2
Limon (0,02 à 0,002 mm.).....	19,1	16,6	5,0
Argile (inf. à 0,002 mm.)	6,6	12,4	3,5
Humidité	1,1	1,0	0,3
Analyse chimique: *Eléments totaux*:			
Silice SiO^2 %	58,8	55,0	60,0
Alumine Al^2O^3 %	3,2	1,6	2,0
Fer Fe^2O^3 %	7,0	9,0	8,2
Chaux CaO %	11,8	13,2	14,8
Perte au feu %	15,5	15,3	13,3
Analyse agronomique de la terre fine:			
Réaction	alcaline	alcaline	alcaline
pH	7,6	7,75	7,5
Azote total °/oo	2,22	1,05	0,53
P^2O^5 total °/oo	1,15	0,99	0,56
K^2O totale °/oo	2,70	2,06	0,98
P^2O^5 assimilable °/oo	0,44	0,40	0,38
K^2O assimilable °/oo	0,15	0,19	0,03

Au point de vue physique, le sous-sol inférieur (1,80 m. de profondeur) prélevé au voisinage de la limite du soubassement de graviers est constitué par un sable assez grossier; limon fin et argile représentent en tout 8 % de l'ensemble seulement.

A 0,60 m. de profondeur la teneur en sable grossier a beaucoup diminué ; celle en limon et argile a augmenté.

En surface, augmentation nouvelle du sable grossier aux dépens de l'argile.

Ce sont là des différences *dues non à un phénomène pédologique*, mais aux différences du régime de sédimentation lors du dépôt de ces limons fluviatiles.

L'homogénéité réelle de l'ensemble de cette formation est beaucoup mieux marquée par *l'analyse chimique* (éléments totaux).

Notons seulement la teneur en chaux, à peine diminuée en surface, ce qui montre l'absence presque absolue de décalcification.

L'*analyse agronomique* qui porte sur les éléments les plus nécessaires à la vie végétale : Azote, Acide phosphorique et Potasse, nous montre au contraire un enrichissement indéniable de l'horizon superficiel avec diminution graduelle vers la profondeur ; cela est à rapprocher de la teinte noirâtre, d'origine végétale et humique, observée en surface et qui va en s'éclaircissant vers la profondeur.

Le sol des alluvions modernes est donc un sol très faiblement différencié par rapport à sa roche-mère, et simplement enrichi en surface en matières organiques d'origine végétale.

Maintenant que nous avons passé en revue les différents sols qui occupent la surface de la Basse-Terrasse aux environs de Mulhouse, voyons quelles sont les découvertes paléontologiques et archéologiques qui y ont été faites jusqu'ici.

L. G. Wernert signale des molaires attribuées à l'*El. antiquus* en provenance de Petit-Kembs en face du Kembs alsacien. Cela confirmerait la présence d'alluvions monastiriennes dans la masse inférieure des graviers de la Basse-Terrasse.

Quant aux graviers grossiers qui forment la masse principale de la Basse-Terrasse, ils ont jadis fourni à Gutzwiller, P. Merian, Alb. Muller, Rüti-Meyer, Greppin, qui les ont étudiés dans la région bâloise, une faune de mammifères nettement würmienne : *Elephas primigenius*, *Rhinoceros tichorhinus*, *Equus* sp, *Bison priscus*, *Bos primigenius*, *Cervus tarandus*, *Cervus elaphus*, *Cervus megaceros*, *Ursus spelaeus*. Ces ossements peu ou pas roulés paraissent bien en place dans leur gisement et non remaniés.

Dans la région de Mulhouse, L. G. Werner a signalé de son côté une série de découvertes dans les graviers de la Basse-Terrasse :

en 1860 une molaire inférieure droite de mammouth trouvée à Huningue dans une gravière,

en 1862 une défense de mammouth à Dietwiller dans une gravière,

en 1902, plusieurs molaires de mammouth sur la route de Bantzenheim au Moulin de la Harth,

en 1909, défense de mammouth dans la sablière Auriac sur la route de Huningue à Bâle,

en 1918, une mâchoire inférieure de mammouth à Bartenheim.

Les graviers de la Basse-Terrasse seraient donc en majeure partie d'âge würmien. Ils auraient été déposés, comme les graviers du delta de la Bruche étudiés précédemment, durant les périodes climatiques pluvieuses comprises entre les périodes plus sèches qui correspondent aux dépôts des lœss récents.

La reprise d'activité du fleuve, après la période sèche du lœss récent supérieur, a amené l'érosion du lœss à la surface des graviers würmiens, et le dépôt superficiel des graviers remaniés et des sables qui occupent encore une partie importante de la surface de la Basse-Terrasse.

La faune de ces sables, étudiée par Gutzwiller, indique un certain nombre d'espèces de mollusques communes avec les lœss ; par contre certaines espèces ont disparu, par exemple *Helix hispida*, remplacées par des espèces nouvelles : *Helix hortensis*, *Buliminus montanus*, *Coecilianella acicula*, *Limneus ovatus*.

Quant aux alluvions modernes et aux lœss de remaniements les plus récents, ils sont caractérisés, ainsi que le signale Fœrster, par l'abondance d'*Helix pomatia* et *Coecilanella acicula*.

Au point de vue *industrie humaine*, les sols superficiels de la Basse-Terrasse dans la zone qui nous occupe, n'ont jamais fourni d'instruments paléolithiques. Les objets en pierre polie qui y ont été trouvés ne sont qu'en nombre restreint. Citons en particulier une hache marteau en serpentine vosgienne à perforation cônique trouvée sur la commune de Blodelsheim (n° 2.373 du Musée de Mulhouse) et une hache marteau en porphyre (n° 57) retirée à Rixheim des graviers de la Basse-Terrasse.

L'existence en certains points de produits de l'industrie néolithique dans les graviers mêmes de la Basse-Terrasse considérés comme beaucoup plus anciens (würmiens), a paru longtemps une énigme. Elle s'explique, à mon avis, par les érosions et remaniements subis superficiellement par ces graviers pendant et depuis le Néolithique ; le creusement de rigoles, en certains points, s'est accompagné de l'accumulation, en d'autres points, de masses importantes de graviers et sables remaniés.

P. R. Zuber a signalé une belle découverte de sépultures avec squelettes accroupis attribuables au Néolithique dans les lehms de Kingersheim, que nous avons décrits plus haut à la surface des graviers vosgiens de la Basse-Terrasse. Il signale que ces tombes étaient creusées à travers trois couches de lehms superposés de haut en bas de couleur brune, brique et jaune. Ces trois couches correspondent aux trois horizons pédologiques A, B et C du sol brun lessivé formé ici aux dépens du lœss calcaire. J'ai moi-même trouvé dans ces lehms de la poterie noire néolithique assez grossière.

Les trouvailles de l'âge du bronze ont été très nombreuses au pied des coteaux et dans les gravières de la Basse-Terrasse, en particulier dans la région de Riedisheim.

L'âge du Bronze et les débuts de l'âge du Fer (Hallstatt) sont abondamment représentés dans les tumuli de la forêt de la Harth.

Je vais chercher à placer maintenant les sols de la Basse-Terrasse dans le cadre des périodes climatiques flandriennes, telles qu'elles ont été définies par Blytt-Sernander pour les régions nordiques d'après les analyses polliniques des tourbes post-glaiciaires.

Etant donné la distance qui sépare la vallée du Rhin des rives de la Baltique, nous allons nous appuyer plus particulièrement ici sur les analyses polliniques de régions plus proches effectuées par G. Dubois et P. Hatt sur les tourbes du Champ du Feu dans les Vosges, et par Stark et Broche en Forêt-Noire.

SUCCESSIONS FORESTIÈRES
(d'après G. Dubois)

PÉRIODES GÉOLOGIQUES	Périodes climatiques (Blytt Semander)	Forêt-Noire	Champ du Feu	Millénaires
Flandrien supérieur	subatlantique	sapin	recul relatif du hêtre et du sapin	+ 2 + 1 0
	subboréal	hêtre	hêtraie avec sapin	— 1 — 2
Flandrien moyen	Atlantique	sapin chênaie mixte	sapin chênaie mixte	— 3 — 5
Flandrien inférieur	Boréal	coudrier	coudrier	— 6
	Subarctique	pin	pin et coudrier	—10

Nous avons vu que la fin de la période subdésertique froide qui a provoqué le dépôt des lœss éoliens d'Alsace, avait été suivie d'une période plus humide et plus tempérée qui a amené d'une part la décalcification superficielle des lœss avec apparition des sols de lehm, d'autre part un ruissellement puissant à la surface de la Basse-Terrasse. Cette période humide, à laquelle nous devons, au point de vue sol, le lehm brun de la carrière inférieure de Sierentz, et la lehmification première du lœss de Kingersheim, est sans doute celle du développement du pin dans les Vosges, cet arbre colonisant facilement les étendues récemment abandonnées par les glaces. C'est le *Subarctique* des auteurs.

Les eaux du Rhin et de ses affluents ruisselaient encore à cette époque, au moins pendant leurs crues, sur presque toute la surface de la Basse-Terrasse, qui se trouve par conséquent privée de lœss.

Une certaine dessiccation du climat amena la formation des *sols de lehm noir* alluvial dans la vallée inférieure de l'Ill, individualisée à ce moment par le soulèvement des diapirs de la Basse-Terrasse vers Ensisheim—Marckolsheim. D'autres sols noirs faiblement décalcifiés se forment à la surface des sables rhénans qui viennent d'émerger dans la région de la Harth. Ces sols présentent tous un caractère steppique de climat sec, qui correspond avec le développement du coudrier en Forêt-Noire et dans les Vosges : c'est la période *boréale*. Le chêne se mêle peu à peu au coudrier en montagne, puis il est lui-même refoulé vers la plaine par des espèces plus montagnardes sous l'influence d'une humidité de plus en plus grande ; le règne du sapin marque en montagne la prédominance de l'influence *atlantique*. Dans la plaine, c'est la formation des sols bruns lessivés, à profil A, B, C, à la surface des graviers de la Basse-Terrasse : le ruissellement enterre

les sols noirs boréaux des fonds de dépressions sous des limons rouges descendus des bombements de graviers voisins.

Au Subboréal et au Subatlantique on voit en montagne le hêtre se mêler de plus en plus au sapin, ce qui marque une atténuation de l'humidité climatique. L'époque actuelle à son tour est marquée par une régression du hêtre qui marque un dessèchement plus net du climat.

Dans la Harth, les périodes subboréale et subatlantique ont été marquées par une érosion assez intense des sols atlantiques les plus évolués ; les sols nouvellement érodés ont subi à leur tour une décalcification partielle. Les sols de la partie orientale de la Basse-Terrasse, constituée par des pseudo-tchernozioms partiellement décalcifiés et des sols bruns peu évolués à profil A-C, appartiennent à ces dernières périodes climatiques. Quant à la période actuelle, où le lessivage éluvial paraît encore ralenti, elle est représentée par les sols calcaires non décalcifiés de la plaine dite des alluvions modernes.

Pour rattacher ces événements pédologiques aux événements les plus connus des émersions et submersions flandriennes dans la région danoise, je rappellerai simplement que l'émersion du *lac à Ancylus* est contemporaine, de la période boréale à climat continental et que la submersion de la mer à Littorines du Flandrien moyen est, elle, contemporaine de la période atlantique, à climat océanique, durant laquelle s'est produit le lessivage relativement intense des sols bruns de la Forêt de la Harth.

Ces observations permettent donc le rattachement des sols des différents niveaux de la Basse-Terrasse de la région de Mulhouse aux diverses subdivisions du Flandrien.

Comparons maintenant ces résultats avec les observations exposées dans les chapitres III et IV du présent travail, faites sur la Basse-Terrasse de la région de Strasbourg et qui se trouvent résumées dans le tableau placé à la fin du chapitre V.

Le Subarctique marque la reprise d'un climat humide, après la période très sèche qui a provoqué le dépôt éolien du lœss récent supérieur ; il a vu dans le Bas-Rhin comme dans le Haut-Rhin, le début du lessivage superficiel du lœss récent, avec formation de lehm éluvial, pendant que les crues du Rhin et de ses affluents vosgiens (Thur, Bruche) parcouraient encore les alluvions de Basse-Terrasse sans couverture lœssique.

Le Boréal a vu émerger partiellement les alluvions de cette Basse-Terrasse sans couverture lœssique (Terrasse à berge haute de Briquet) et se former à sa surface des sols noirs substeppiques que nous retrouvons enterrés dans les fonds de vallons fossiles de la Harth ; des sols noirs analogues existent enterrés dans les vallons et au flanc des terrasses lœssiques de la région de Strasbourg (Hœnheim, Souffelweyersheim).

FORMATIONS SUPERFICIELLES FLANDRIENNES A LA SURFACE DE LA BASSE-TERRASSE AUX ENVIRONS DE MULHOUSE.

PÉRIODES GÉOLOGIQUES		PÉRIODES CLIMATIQUES	FORMATIONS PÉDOLOGIQUES	FORMATIONS ALLUVIALES	INDUSTRIES HUMAINES
FLANDRIEN	supérieur	Actuel	Sols non évolués	Sables des Iles du Rhin	
		Subatlantique	Sols décalcifiés du niveau inf. B de la Basse-Terrasse	Alluvions modernes de la plaine du Rhin	Moyen âge Gallo Romain
	moyen	Subboréal	Pseudo tchernoziom du niveau B de la Basse-Terrasse	—	Fer Bronze
		Atlantique	Sols bruns lessivés du du niveau sup. A de la Basse-Terrasse	Limons colluviaux dans les dépressions du niveau A	Enéolithique
	inférieur	Boréal	Sols noirs enterrés du niveau A de la Basse-Terrasse	—	Néolithique
		Subarctique	Lehm sur lœss récent	Sables lœssiques et graviers remaniés du niveau A	Mésolithique
Würmien	W III	Arctique	Lœss récent supérieur	Lœss fluviatile de Kingersheim	Paléolithique supérieur

La période atlantique a vu une forte influence climatique océanique submerger la plaine d'Alsace. Les lehms de surface ont pris une grande extension et ont partiellement subi un lessivage éluvial intense, avec début de podzolisation. Le phénomène podzolique a été plus marqué encore à la surface des graviers du Rhin (Harth) et des alluvions des rivières vosgiennes (vallée de la Bruche).

C'est le moment où se sont établies sur les terrasses alluviales de Haute-Alsace, les forêts de chênes de la Harth et de Nonnenbruch, que nous y voyons encore végéter aujourd'hui.

Le Subboréal a vu la fin de cette période climatique forestière et à lessivage éluvial intense. Les sols établis sur le niveau inférieur B (N. Théobald) de la Basse-Terrasse des environs de Mulhouse sont, en effet, des sols noirs à faciès steppique (pseudo-tchernozioms). Le Ried éléo-rhénan, qui s'étend largement entre Colmar et Strasbourg, est caractérisé également par ses sols noirs, humifères, riches en calcaire, à flore continentale.

Enfin les éboulis lœssiques, qui enterrent, au fond des vallons des Basses-Terrasses de Schiltigheim et de Lingolsheim, les lehms éluviaux atlantiques ne présentent que de faibles traces de décalcification.

Le Subatlantique, s'il paraît indiquer une légère reprise de la décalcification du niveau B de la Basse-Terrasse de Mulhouse et des portions de lœss érodées des environs de Strasbourg, marque, au point de vue de l'intensité du phénomène éluvial sur les sols, une action incomparablement plus faible que celle de la période atlantique.

La période actuelle enfin est remarquable, dans toute la plaine d'Alsace, par l'absence complète de décalcification des alluvions modernes de la basse plaine du Rhin, dans la région mulhousienne, et de l'Ill, autour de Strasbourg ; c'est donc la confirmation de ce que nous faisait prévoir au chapitre II, l'étude du climat actuel de la plaine d'Alsace, placée aujourd'hui sous un régime nettement continental.

Le tableau, qui termine ce chapitre, facilite la comparaison des événements climatiques et pédologiques qui, de Strasbourg à Mulhouse, ont marqué les diverses phases du Flandrien dans la plaine d'Alsace.

COMPARAISON DES ÉVÉNEMENTS PÉDOLOGIQUES DURANT LE FLANDRIEN DANS LES ENVIRONS DE STRASBOURG ET DE MULHOUSE.

PÉRIODES GÉOLOGIQUES		PÉRIODES CLIMATIQUES	ENVIRONS DE STRASBOURG	ENVIRONS DE MULHOUSE
FLANDRIEN	supérieur	actuelle	sols non décalcifiés des alluvions modernes de l'Ill et du Rhin	sols non décalcifiés des alluvions modernes de la plaine du Rhin
		sub-atlantique	décalcification partielle des lœss érodés, en position favorable	décalcification partielle des sols du niveau B de la Basse-Terrasse et des portions érodées des autres niveaux.
	moyen	subboréale	sols noirs du Ried ; éboulis lœssiques non décalcifiés des fonds de vallon	sols noirs ou pseudotchernozioms du niveau B de la Basse-Terrasse
		atlantique	sols de lehm enterré de fond de vallon (Maison Rouge, Hœnheim) ; podzolisation des alluvions de la Bruche sans couverture lœssique	lessivage et légère podzolisation des sols bruns du niveau A de la Basse-Terrasse du Rhin (forêt de la Harth)
	inférieur	boréale	sols de lehms noirs enterrés (Hœnheim-Souffelweyersheim)	sols noirs enterrés sous les limons du niveau A de la Basse-Terrasse et lehms noirs enterrés de la vallée de l'Ill
		subarctique	lehms bruns éluviaux sur lœss récent (La Souffel, Hœnheim-Lingolsheim)	lehms bruns éluviaux sur lœss récents (Kingersheim)
Würmien III		arctique	dépôt éolien du lœss récent supérieur	dépôt éolien du lœss récent supérieur

Chapitre VIII

COMPARAISON AVEC LES LIMONS DE LA RÉGION PARISIENNE

Commont, à la suite d'une excursion géologique faite en Alsace, a écrit dans sa communication intitulée «La Chronologie et la Stratigraphie des dépôts quaternaires de la vallée de la Somme », faite à Liége en 1912 :

« A Achenheim, Hangenbieten, Hochfelden, le lœss récent nous a montré trois subdivisions nettement marquées avec zones d'altération à la partie supérieure.

Le Moustiérien ancien se trouve à la base de ce dernier lœss (Achenheim) associé à la faune du Renne et de l'Ours des cavernes »...

Dès 1912, Commont avait donc cherché à établir le parallélisme entre les ergerons du Nord de la France et les lœss d'Alsace. Voyons s'il est possible aujourd'hui de préciser la pensée de Commont, en nous basant plus particulièrement sur les données pédologiques.

Si l'on parcourt successivement, ainsi que je l'ai fait à plusieurs reprises et, à nouveau, le printemps dernier, les régions classiques des limons du Nord de la France (région parisienne, plateau de Caux, Picardie), puis les contrées lœssiques d'Alsace, on ne peut pas ne pas être frappé par une différence fondamentale du faciès des sols superficiels.

En Alsace, nous l'avons vu dans les chapitres précédents, les lehms de décalcification récents n'ont qu'une faible épaisseur et n'occupent qu'une étendue restreinte, localisés à la partie supérieure des coteaux, à la surface des plateaux les plus étendus. La moindre érosion suffit à mettre à jour le sous-sol lœssique ; la grande épaisseur de la couche de lœss au flanc des coteaux n'est pas moins caractéristique.

En définitive, nous sommes, en Alsace, en présence d'une dominante des faciès de sols essentiellement continentaux (lœss), les sols de climat humide (lehms) n'étant qu'un accessoire [1].

Dans la région Nord de la France, au contraire, les lœss n'apparaissent guère jamais en surface. Ils sont presque toujours recouverts d'une couche épaisse de limon décalcifié appelé *terre à brique*, qui, en certains points de la Picardie maritime, dépasse en épaisseur 3 et

---

[1] C'est sans doute à ce fait qu'est due chez Ehrart la méconnaissance des lehms superficiels flandriens d'âge post-lœssique.

4 mètres. Au voisinage de la mer, c'est à peine si, au fond des exploitations de terre à brique, on aperçoit encore, avec une épaisseur généralement réduite, un limon lœssique typique, jaunâtre et calcaire, connu sous le nom *d'ergeron*. Les rôles sont inversés par rapport à ce qu'on voit en Alsace ; la terre à brique décalcifiée, née d'un climat océanique humide et tempéré, est devenue l'essentiel. L'ergeron n'apparaît plus que comme un dernier reste, un témoin très diminué, d'une époque passée, où s'étendaient, jusqu'au voisinage de l'Océan, les conditions climatiques continentales et froides qui permettaient la formation des lœss éoliens.

Une seconde différence importante entre les lœss d'Alsace et les limons parisiens, est la taille souvent considérable des concrétions calcaires ou « poupées » des lœss d'Alsace, alors que l'on n'observe que de petites poupées, ou, généralement, de simples tubes radiculaires de calcite concrétionnée, dans les ergerons du Nord de la France. Il faut voir, dans les grandes poupées d'Alsace, la trace de la forte évaporation durant les saisons sèches qui se sont maintenues dans cette région continentale, même durant les périodes humides de décalcification des lœss ; les sols à fortes concrétions, calcaires, ferrugineuses ou alumineuses, sont toujours des sols de régions à climats extrêmes, avec saisons humides de lessivage et saisons sèches de concrétion.

Une troisième opposition réside dans l'importance relative des phénomènes de solifluxion. Nous avons vu qu'en Alsace, la solifluxion qui, pour agir efficacement, demande une alternance *d'humidité* et de *froid glacial*, ne provoque généralement, dans les lœss, que d'assez faibles perturbations. Les lœss ici ne paraissent presque jamais avoir été complètement détruits par le phénomène ; celui-ci se borne à imprimer à la masse des courbes sinueuses, généralement peu visibles, qui ne le deviennent nettement qu'au voisinage des sables de la Bruche, ceux-ci, par leur mélange, marquant les courbes de solifluxion d'un trait de couleur plus vive. L'eau nécessaire à la solifluxion est d'ailleurs ici une eau de ruissellement alluvial de fond de vallée et non une eau pluviale météorique comme sur les plateaux maritimes du Nord de la France.

Dans la région océanique, au contraire, le début de chaque glaciation qui, nous l'avons vu, correspondait à une période de forte humidité relative, provoquait une solifluxion considérable qui mêlait, aux restes du lœss sous-jacent presque totalement érodé, une masse de débris grossiers arrachés aux pentes voisines par la débâcle et les dégels répétés. Au lieu d'avoir, comme en Alsace, des lœss à peu près intacts, séparés par des couches de lehms décalcifiés, nous n'avons, dans le Nord de la France, au-dessous de l'ergeron supérieur, qu'une succession assez confuse de nappes solifluées contenant, intercalés entre elles, les restes plus ou moins reconnaissables des lœss inférieurs. H. Breuil a, dans un travail récent intitulé « De l'importance de la solifluxion dans l'étude des terrains quaternaires du Nord de la France et des

pays voisins» (1), attiré l'attention des géologues sur l'intérêt que présentent ces phénomènes pour la classification rationnelle du Quaternaire. Les photographies, annexées à son travail, montrent bien l'importance et l'ampleur de ces phénomènes de solifluxion dans la région atlantique humide, ampleur qui contraste avec le peu de développement de la soliflusion dans la région alsacienne à climat continental plus sec. L'ampleur du phénomène est plus considérable encore en Angleterre, où le climat était encore plus océanique et plus septentrional à la fois.

De plus, l'étude récemment publiée par H. Breuil précise la vieille classification donnée par Commont en 1912 pour les limons de la vallée de la Somme, en particulier pour toute la partie inférieure appelée : limons anciens, dont G. Dubois avait déjà montré l'hétérogénéité.

Voici la classification adoptée par H. Breuil.

Je rappelle que cet auteur désigne par :

S = Solifluxion ; F = dépôts fluviatiles ; L = lœss ; H = dépôts d'altération.

CLASSIFICATION DE H. BREUIL POUR LES LIMONS DU NORD DE LA FRANCE.

	H_2	Terre à brique + L_3 d : lœss de très basse Terrasse	
	S_4 d	4e cailloutis	
Ergeron	L_3 c	lœss récent supérieur	
	S_4 c	3e cailloutis	
	L_3 b	lœss récent moyen	Würm
	S_4 b	2e cailloutis	
	L_3 a	lœss récent inférieur	
	S_4 a	1er cailloutis	
	H_1	argile de Haute et Moyenne-Terrasse	*Interglaciaire Riss-Würm*
	F_3	alluvions de Basses-Terrasses à El. Antiquus	
	L_2	lœss ancien	Riss
	S_3	gravats soliflués	
	F_2c	dépôts fluviatiles	*Interglaciaire Mindel-Riss*
	L_1	lœss très ancien (Bon-Secours)	Mindel
	S_2	gravats soliflués	
	F_1	graviers à *El. Meridionalis*	*Interglaciaire Güntz-Mindel*
	S_1	gravats soliflués très anciens	Güntz

Nous allons étudier d'abord la terre à brique supérieure et l'ergeron aux dépens duquel elle s'est formée, en les comparant aux limons correspondant d'Alsace.

Une belle formation de terre à brique éluviale sur plateau horizontal existe à Lieusaint (Seine-et-Marne), sur la route de Paris à Melun, entre la vallée de la Seine et celle de l'Yères. M. Richard, Ingénieur agronome, de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace, a

(1) Voir Rev. de Géographie physique et Géol. dyn., 1934. Vol. VII, fasc. 4.

organisé là, chez M. Angrand, Président de la Société d'Agriculture de Melun, et avec son précieux concours, un champ d'essais d'engrais potassiques ; afin de mieux connaître le sol sur lequel est établi ce champ d'essais, on a creusé, suivant, en cela, les méthodes pédologiques russes, une fosse de deux mètres de profondeur environ, permettant d'étudier le profil du sol.

De haut en bas, ce profil est le suivant (voir figure 23) :

1° *Horizon supérieur A*, de 0 m. 30 d'épaisseur, formé d'un limon gris jaunâtre à structure grumeleuse peu nette, les mottes s'effritant très facilement entre les doigts : la terre est ce qu'on appelle une terre battante, blanchissant en surface après les fortes pluies.

2° *Horizon moyen B*, de 0 m. 70 d'épaisseur, terre à brique, complètement décalcifiée, argileuse, de couleur rougeâtre et présentant une structure prismatique, avec des fentes de retrait verticales très nettes.

3° *Horizon inférieur*, ergeron jaune, calcaire et poreux, avec, à la partie supérieure, concrétions abondantes qui représentent un horizon illuvial calcaire B^2. L'ergeron constitue ici la roche-mère ou horizon C.

4° Argile rougeâtre, collante, contenant d'abondants débris de meulières et des concrétions ferrugineuses noirâtres, représente un sous-sol géologique beaucoup plus ancien (limon panaché de Commont), sur lequel l'ergeron paraît en transgression discordante.

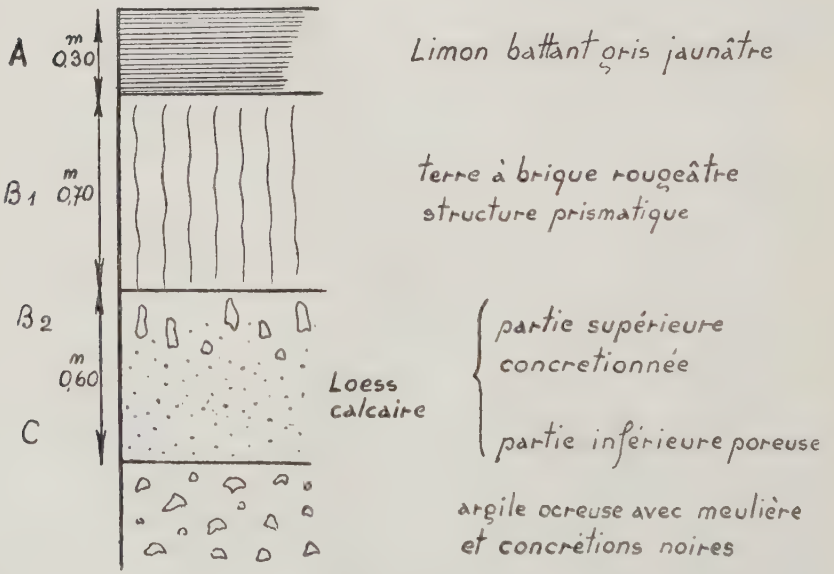


FIG. 23.

Profil du sol de limon du champ d'essai de Lieusaint (Seine-&-Marne).

Les résultats de l'analyse confirment, en tous points, les observations faites sur le terrain (voir tableau XXIII).

Tableau XXIII.

RÉSULTATS DE L'ANALYSE DES ÉCHANTILLONS DE LIMON
(Sol et sous-sol)
DU CHAMP D'ESSAI DE LIEUSAINT (S.-et-M.).

ORIGINE DES ÉCHANTILLONS	Sol A limon battant	1er Sous-sol B terre à briques	2e Sous-sol C ergeron	3e Sous-sol argile jaune
Finesse de la terre % :				
Elém. fins (inf. à 2 mm.)	98,0	100	99,6	68,1
Eléments grossiers	2,0	0	0,4	31,9
Analyse physique de la terre fine % :				
Sable grossier (2 mm. à 0 mm. 2) ..	1,8	0,3	1,0	**8,7**
Sable fin (0 mm. 2 à 0 mm. 02) ..	**56,0**	46,1	41,0	36,1
Limon (0 mm. 02 à 0 mm. 002) ...	23,5	24,1	23,0	19,0
Argile (inf. à 0 mm. 002)	16,4	**28,1**	18,1	**29,1**
Calcaire	1,0	—	**14,5**	4,0
Humidité	1,9	3,0	2,5	4,5
Analyse chimique de la terre fine :				
Réaction	alcal.	alcal.	alcal.	alcal.
pH	7,5	7,5	7,8	7,6
Teneur en Azote total °/oo	1,68	0,90	0,57	0,70
Teneur en P^2O_5 total °/oo	0,92	0,65	0,87	0,36
Teneur en K^2O totale °/oo.....	2,12	3,12	2,16	1,74
Teneur en P^2O_5 assimilable °/oo .	0,14	0,02	0,21	0,01
Teneur en K^2O assimilable °/oo ..	0,15	0,07	0,09	0,15

Au point de vue physique, le limon battant superficiel A est surtout riche en sable fin (56 %) et relativement pauvre en argile (16,4 %) ; il repose sur une terre à brique B^1 beaucoup plus riche en argile (28,1 %).

A l'enrichissement en argile du sous-sol B^1, correspond un enrichissement très net de cet horizon en potasse totale. Pour l'acide phosphorique, il arrive, ici, ce qui arrive fréquemment sous le climat actuel, dans les terres bien cultivées depuis longtemps : il y a, sous l'effet des fumures, enrichissement de la couche superficielle en P^2O^5 total et assimilable.

En définitive, il s'agit d'un sol brun à lessivage podzolique partiel caractéristique, à peine modifié par la culture.

Une très belle hache en silex poli a été trouvée au cours d'un labour à la base du limon superficiel ; nous en donnons ci-joint une photographie (voir photo 36, planche XVI).

Nous sommes, par conséquent, en présence d'un sol de profil voisin de celui des lehms éluviaux supérieurs des terrasses de lœss d'Alsace (Schiltigheim, Lingolsheim, Breuschwickersheim).

A Lieusaint et, d'une manière générale, autour de Paris, l'épaisseur de la terre à brique en surface de plateau ne dépasse guère l'épaisseur que nous avons observée, pour le lehm superficiel correspondant, à Lingolsheim, ou à la Souffel. C'est en se rapprochant de la côte, vers le pays de Caux ou la Picardie, que l'épaisseur de la terre à brique éluviale croît sensiblement avec l'humidité du climat.

Cependant, dans la région parisienne elle-même, on n'aperçoit presque jamais un affleurement de lœss, d'ergeron typique, non recouvert de son lehm de décalcification, de *terre à brique*. C'est là une caractéristique des sols du climat parisien, climat nettement plus maritime que le climat alsacien ; si les hauteurs de pluies y sont parfois comparables, l'humidité atmosphérique est beaucoup plus élevée, en moyenne, à Paris qu'en Alsace et les pluies d'hiver plus abondantes. D'où les deux types extrêmes : sols de terre à brique lessivés dans la région parisienne, sols calcaires d'érosion si fréquents sur les lœss d'Alsace.

L'érosion joue un rôle assez important dans la région parisienne elle-même, mais elle porte, ici, sur la partie supérieure de la terre à brique et ne met jamais à nu l'ergeron lui-même. Il arrive fréquemment, par contre, qu'elle fasse apparaître l'horizon illuvial B argileux rougeâtre, le rougeon supérieur des cultivateurs de la région parisienne : ce rougeon affleure alors au flanc des vallons, le limon battant blanchâtre et podzolisé formant le sol de surface des plateaux ou s'accumulant, après remaniement, dans les bas-fonds, sous forme de sols colluviaux assez clairs. Ce limon de lavage est alors plus ou moins mélangé de produits plus argileux. Le tableau XXIV donne une idée des teneurs en sable fin et en argile d'un de ces sols de terre à brique colluviale de bas de pente, prélevé à la *Briqueterie de l'Hay-les-Roses*, située au sud de la redoute des Bruyères. Ce sol est un sol de lehm décalcifié colluvial, très comparable, au point de vue analyse, aux lehms de bas de pente que nous avons étudiés en Alsace, tant à la Briqueterie Alsacienne de Souffelweyersheim, au pied de la Basse-Terrasse, qu'à la Briqueterie Hurst au pied de la Moyenne-Terrasse. Le lessivage en argile est seulement, ici, un peu plus net.

La Briqueterie de l'Hay-les-Roses, située au pied du coteau, exploite une épaisse couche de limon visible sur une profondeur de 1 m. 50 à l'endroit de notre prélèvement ; la partie superficielle est grisâtre, le sous-sol d'un brun jaunâtre, l'ensemble ne présente guère à l'œil, d'horizons pédologiques distincts. Les compositions physique et chimique du sol et du sous-sol sont, d'ailleurs, très voisines.

Dominant cette zone d'épandage colluvial, les sols du bord du coteau n'apparaissent pas, comme en Alsace, sous forme de sols d'érosion de lœss calcaire. On y trouve des sols de lehm brun complètement décalcifiés, mais non podzolisés et, par conséquent, moins évolués que les sols de plateau tels que nous les avons étudiés plus haut à Lieusaint.

Un bon exemple de sol de bord de plateau existe à la *Briqueterie du Fort de Bicêtre* à Villejuif (Seine). Dans cette briqueterie, on exploite en profondeur la glaise M_{111} ; mais celle-ci est recouverte, en surface, par du limon quaternaire. De haut en bas, le sol de lehm actuel, à la surface de l'ergeron, est ainsi composé :

— sol superficiel constitué par une couche de terre de 0 m. 35 d'épaisseur de couleur gris brunâtre et à structure grumeleuse polyédrique.

— sur 0 m. 35, sous-sol de couleur brun chocolat, à structure prismatique; le sol superficiel grisâtre pénètre dans cet horizon sous forme de tubes radiculaires cylindriques, occupant la place d'anciennes racines.

— lœss calcaire de teinte claire jaunâtre, dont la partie supérieure, sur 0 m. 30 environ, est fortement imprégnée de calcaire concrétionné blanchâtre. L'argile de décalcification pénètre la portion supérieure du lœss sous forme de tubes de racines et le lœss inférieur contient lui-même des tubes calcaires en rapport avec sa portion supérieure concrétionnée.

Au point de vue analyse (tableau XXIV) :

Le sol superficiel, qui porte ici des cultures maraîchères, contient quelques éléments grossiers restant au tamis de 2 mm. et constitués par des mâchefers et autres débris apportés par les fumures. La constitution physique du sol et celle du premier sous-sol sont très voisines. Les teneurs en argile et sable fin sont exactement comprises entre celles du sol de lehm éluvial et du sous-sol de lehm illuvial observé en sol de plateau, à Lieusaint :

Terre à brique	éluviale supérieure Lieusaint	non lessivée Villejuif	illuviale inférieure Lieusaint
Sable fin	56,0	49,5	46,1
Argile	16,4	25,2	28,1

Le sol est fortement enrichi en azote et acide phosphorique par les fortes fumures apportées aux cultures maraîchères, la teneur en potasse n'a, au contraire, guère varié.

Le lœss concrétionné se distingue des couches immédiatement supérieures, par sa teneur très élevée en calcaire libre, qui, comme dans les horizons de concrétions observés dans les lœss d'Alsace, dépasse nettement 30 %.

Tableau XXIV.

ÉCHANTILLONS DE TERRE DU FORT DE BICÊTRE ET DE L'HAY-LES-ROSES.

ORIGINE DES ÉCHANTILLONS	Briqueterie de l'Hay-les-Roses		Briqueterie du Fort de Bicêtre			
	Sol	Sous-sol	Sol A_1	Sous-sol A_2	Lœss concrétionné B	Lœss typique C
Finesse de la terre %:						
Eléments fins (inf. à 2 mm.)	100	100	97,4	100	100	100
Eléments grossiers	0	0	2,6	0	0	0
Analyse physique de la terre fine %:						
Sable grossier (2 mm. à 0 mm. 2)	3,2	1,9	3,8	1,4	1,4	0,5
Sable fin (0 mm. 2 à 0 mm. 02)	52,0	51,0	48,1	49,5	37,8	50,0
Limon (0 mm. 02 à 0 mm. 002)	24,0	24,5	21,5	21,5	11,2	19,0
Argile (inf. à 0 mm. 002)	19,0	21,0	23,2	25,2	10,5	9,1
Calcaire	—	—	—	—	37,0	20,0
Humidité	1,8	1,6	2,0	2,0	1,0	1,0
Analyse chimique de la terre fine:						
Réaction	neutre	légt alc.	légt alc.	alcaline	alcaline	alcaline
pH	7,1	7,4	7,3	7,5	7,9	7,9
Teneur en azote total °/oo	1,50	0,65	1,75	0,82	0,40	0,35
Teneur en P^2O^5 total °/oo	1,18	0,88	2,80	1,49	0,70	0,76
Teneur en P^2O^5 assimilable °/oo	0,17	0,04	1,44	0,47	0,33	0,37
Teneur en Potasse totale °/oo	2,60	2,80	3,66	3,46	1,56	1,94
Teneur en Potasse assimilable °/oo	0,20	0,12	0,21	0,14	0,02	0,08

Enfin, le lœss typique inférieur est caractérisé par une teneur en calcaire de 20 %, alliée à une teneur en argile de 9,0 et 50 % de sable fin. C'est exactement la composition des lœss d'Alsace (voir la Souffel tableau I, Lingolsheim tableau IX, Achenheim tableau XI).

Pour étudier les relations des lœss récents et des limons plus anciens, il nous faut abandonner, maintenant, le plateau, où les érosions et les solifluxions anciennes ont presque partout détruit la majeure partie des couches sous-jacentes à l'ergeron supérieur, et nous adresser à une Haute-Terrasse de la Seine. Une très belle coupe des limons récents et anciens existe à la carrière *Bouchon* à *Ivry* (Seine) (1) (altitude 80-85m.). J'en donne une excellente photographie prise par M. Moreau, Ingénieur du Bureau d'Etudes sur les Engrais à Paris, à la suite d'une visite que nous avons faite ensemble à cette carrière en juillet 1934 (voir photo 37, planche XVI).

La coupe de limon de cette carrière comporte de haut en bas :

1° La *terre à brique* supérieure, presque complètement décalcifiée, présente une différenciation verticale très nette. Un horizon supérieur brun clair repose sur un horizon noirâtre, humifère, riche en Helix de grande taille (H. pomatia) et en ossements de vertébrés (bœuf). Au-dessous de cet horizon se trouve une zone de lehm plus clair contenant de nombreux tubes de racines calcaires blancs ; la partie inférieure est formée de lehm brun décalcifié.

2° *L'ergeron* calcaire, de teinte jaune clair, dont l'aspect est celui d'un lœss éolien typique, se termine en biseau en direction de la plaine.

3° 3 lits de *cailloutis* séparés par deux lits de limon sableux calcaire jaunâtre. Ce complexe est fortement envahi de tubes de racines calcaires en liaison avec la base de l'ergeron placé immédiatement au-dessus.

4° Un *limon roux*, argileux (limon fendillé). Un contre-maître de la carrière nous a remis deux bifaces, de facture acheuléenne, l'un en silex, l'autre en quartzite, et provenant de la surface du limon roux à la base des cailloutis. Le limon roux passe vers le bas à :

5° Un *limon plus clair*, moins argileux, riche en sable fin, à *points noirs* (limon doux à points noirs). Ces deux limons présentent encore vers le haut quelques tubes calcaires nettement liés aux horizons supérieurs : des traces de racines, noircies par un dépôt ferrugineux ou manganeux, les traversent sur toute leur hauteur.

6° Séparé des précédents par un petit horizon de sable graveleux rubéfié, un *limon sableux* jaune à traces de racines noircies (limon panaché). Il se distingue des précédents par l'*absence complète de calcaire libre*.

7° *Cailloutis* inférieurs.

8° *Graviers* de la Seine.

L'analyse des échantillons prélevés à divers niveaux (voir tableau XXV) fait ressortir les faits suivants :

La terre à brique supérieure (1) est presque complètement décalcifiée ; elle présente une teneur élevée en sable fin (50 %) et en argile (24 %). Cette teneur l'apparente aux lehms de décalcification non podzolisés observés sur la bordure du plateau supérieur au Fort de

(1) Cette coupe a déjà été étudiée par Agofonoff et Malycheff dans : «Le lœss et les autres limons du plateau de Villejuif.» Bul. Soc. Géol. de France, 1929, p. 121.

TABLEAU XXV.

RÉSULTATS DE L'ANALYSE DES ÉCHANTILLONS DE LIMONS DE LA CARRIÈRE BOUCHON A VILLEJUIF (Seine).

ORIGINE DES ÉCHANTILLONS	Terre à brique sup.	Ergeron calcaire	Limon fendillé partie sup.	Limon fendillé inf.	Limon plus clair	Limon sableux inf.
NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS	1	2	4	4 bis	5	6
Finesse de la terre % :						
Eléments fins (inf. à 2 mm.)	99,8	99,3	99,2	99,4	99,4	100
Eléments grossiers	0,2	0,7	0,8	0,6	0,6	0
Analyse physique de la terre fine % :						
Sable grossier (2 mm. à 0 mm. 2)	2,9	3,5	9,7	13,0	6,4	46,6
Sable fin (0,2 mm. à 0 mm. 02)	50,4	36,1	44,9	42,6	54,1	25,3
Limon (0,02 mm. à 0 mm. 002)	18,5	15,0	16,0	17,2	17,9	8,6
Argile (inf. à 0 mm. 002)	24,5	15,7	25,2	25,5	19,6	17,5
Calcaire	1,6	26,8	3,0	1,0	0,9	—
Humidité	2,6	1,9	3,1	3,0	1,2	1,0
Analyse chimique de la terre fine						
Réaction	alcal.	alcal.	alcal.	alcal.	alcal.	alcal.
pH	7,3	7,5	7,35	7,35	7,2	7,35

Bicêtre (tableau XXIV). Cependant, et le phénomène est particulièrement visible au pied de la pente du coteau voisin, nous sommes pour une large part, en présence de lehms colluviaux de bas de pente.

L'ergeron lui-même (2) est assez riche en calcaire (26%), sans doute par suite d'un certain enrichissement illuvial.

Le limon rouge fendillé (4 et 4 *bis*), à la surface duquel a ruisselé la solifluxion des premiers cailloutis, présente, au point de vue physique, une assez grande analogie avec la terre à brique supérieure, en particulier comme teneur en argile, mais il est plus pauvre en sable fin. La légère quantité de calcaire qu'il contient paraît provenir d'infiltrations en liaison avec les horizons calcaires supérieurs (sables calcaires et cailloutis) ; la teneur en calcaire va d'ailleurs en diminuant avec la profondeur, pour devenir nulle dans le limon sableux inférieur.

Il semble donc que nous soyons en présence d'une véritable terre à brique de décalcification, de couleur rougeâtre et sans traces de podzolisation, mais ayant subi, postérieurement à la solifluxion qui a raviné sa surface, une recalcification légère, qui a pénétré sa masse de haut en bas.

Le limon clair à points noirs (5) se montre plus riche en sable fin, plus pauvre en argile que le limon fendillé supérieur : c'est un *limon doux* à points noirs de Ladrière ; sa masse uniforme sur une grande épaisseur et sa richesse en sable fin paraissent en faire un produit éolien accumulé à la surface d'une terrasse alluviale ancienne et au pied de la pente. Nous serions donc en présence d'un *lœss ancien* entièrement décalcifié sur toute sa masse, surmonté par un lehm rubéfié partiellement colluvial, constitué par le limon rouge fendillé. Ce lœss ancien repose sur un véritable sable grossier fluviatile *alluvial* (6) d'une grande richesse en sable grossier et lui aussi *entièrement décalcifié.*

Ces sables reposent à leur tour sur une couche de cailloutis irréguliers, passant aux graviers de la Seine.

Tâchons de paralléliser ces formations avec les limons d'Achenheim.

La *terre à brique* superficielle d'Ivry paraît, comme le lehm superficiel d'Alsace, être une formation complexe et appartenir aux divers niveaux du Flandrien. Sa partie inférieure formée, au cours du Flandrien, *par décalcification de l'ergeron en place*, pourrait parfaitement contenir au point de vue industrie, du Paléolithique supérieur, déjà *en place dans l'ergeron* avant décalcification et antérieur par conséquent au Flandrien. Les couches supérieures colluviales de la terre à brique contiennent au contraire des restes des animaux domestiques et de l'industrie néolithique ou postnéolithique ; le Paléolithique supérieur ne pourrait s'y présenter que sous forme remaniée.

Ce qui différencie cette terre à brique du lehm superficiel d'Alsace, c'est son développement bien plus considérable, aux dépens d'un ergeron bien plus réduit que le lœss supérieur d'Alsace.

L'ergeron supérieur est le seul bien développé à Ivry ; les 3 cailloutis de solifluxion sur lesquels il repose sont séparés par des sables calcaires grossiers, reste des deux ergerons moyen et inférieur. Ce serait l'équivalent des 3 lœss würmiens d'Achenheim séparés par des sols de décalcification ou lehms inégalement développés.

Les cailloutis de solifluxion des ergerons d'Ivry ravinent en surface un limon argileux rouge très épais, primitivement décalcifié (*limon fendillé*), et partiellement recalcifié par des tubes de racines partis des cailloutis qui le surmontent.

Ce limon rouge semble représenter ici non seulement le limon rouge d'Achenheim, formant la partie supérieure du lœss ancien moyen de Schumacher, mais encore tout l'ensemble des lœss anciens moyens et inférieurs de cet auteur, qui représentent, nous l'avons vu, des produits colluviaux de comblement d'un vallon pendant l'Interglaciaire Mindel-Riss.

Le limon fendillé du Nord de la France a été signalé tantôt comme contenant la faune tempérée chaude à *Elephas Antiquus*, tantôt comme contenant une faune froide ; il convient à ce sujet de ne pas perdre de vue le principe, mis en lumière par G. Dubois, de l'absence relative de parallélisme entre le faciès lithologique d'un limon et son âge géologique vrai. En particulier les limons fendillés, d'origine primitive monastirienne, ont été fréquemment ravinés et remaniés postérieurement par les solifluxions würmiennes, qui y ont introduit les débris de la faune froide qui vivait à leur surface. La forte décalcification subie, lors de leur formation, par ces sols d'argile rouge, sous le climat humide du Monastirien parisien, a d'ailleurs provoqué la destruction presque complète des ossements qu'ils pouvaient primitivement renfermer. Nous avons vu qu'en Alsace même, où le climat était cependant plus continental, les ossements contenus dans le sol rouge de surface des limons monastiriens se présentaient dans un état de conservation très précaire. Il n'est donc pas surprenant que l'argile rouge des formations continentales monastiriennes du Nord de la France (H_1 de la classification de Breuil) soient plus pauvres en débris d'*El. Antiquus* que les formations fluviatiles contemporaines de la Basse-Terrasse (F_3 du même auteur).

Au-dessous du limon fendillé rougeâtre, nous trouvons à Ivry une formation homogène, moins colorée, plus pauvre en argile, plus riche en sable fin ; c'est le *limon à points noirs*, ou *lœss ancien* des anciens auteurs. D'après la classification de H. Breuil, nous serions en présence d'un lœss d'âge *Rissien*, qu'un ou deux petits lits graveleux séparent des sables fluviatiles jaunes plus colorés sousjacents, entièrement décalcifiés, contemporains des limons panachés tyrrhéniens, donc d'âge interglaciaire Mindel-Riss (F_2 de Breuil) ; c'est l'âge que j'ai attribué aux sables rhénans d'Achenheim.

Les graviers grossiers profonds d'Ivry seraient d'âge plus anciens encore, sans doute milazziens (F_1 de Breuil), ce qui s'expliquerait par le fait que nous sommes ici à 50 mètres environ au-dessus de la plaine

de la Seine (altitudes 80 m. à Ivry, et 30 m. pour la plaine de la Seine) donc sur la *Haute-Terrasse* ; alors que les sables d'Achenheim appartiennent à la *Moyenne-Terrasse.*

D'après cette manière de voir, les *lœss anciens* de Schumacher tels que nous les avons étudiés à Achenheim, et que j'ai attribués pour partie au *Würmien inférieur* (lœss ancien supérieur) pour partie au *Monastirieu* (lœss anciens moyen et inférieur), correspondraient donc dans la région parisienne à l'ergeron inférieur et au limon fendillé typique du Nord de la France ; ils ne seraient donc pas l'équivalent du *lœss ancien du Nord de la France, qui lui serait d'âge rissien.*

Le tableau ci-joint résume cet essai de parallélisation des lœss d'Alsace et des limons de la région parisienne.

Je n'y ai pas tenu compte du 4^{e} lœss L_3d de H. Breuil, localisé d'après cet auteur sur la très Basse-Terrasse et qui me paraît un produit secondaire de remaniement lœssique, analogue aux marnes lœssiques de flanc de terrasse d'Achenheim et Souffelweyersheim, que j'attribue au Flandrien inférieur.

COMPARAISON DES MOYENNES TERRASSES DE LA SOMME ET DU RHIN.

SOMME				ALSACE (Achenheim)				
Notation de Breuil	Formations	faune	industries	Formations	faune	industries	Notation proposée	
H_2	Terre à brique	animaux domestiques et faune froide	Néolithique et Paléol. sup.	Lehm	animaux domestiques	Néolithique et Mésolithique	*Flandrien*	*Würmien*
L_3 c	ergeron	faune froide ou tempérée froide à *El. primigenius*		Lœss récent sup. des auteurs	faune froide ou tempérée froide à *El. primigenius*	Paléolithique sup.	W III	
S_4 c	3e cailloutis		Levalloisien VII	Sol décalcifié partiellement		Aurignacien	Récession d'Achen	
L_3 b	ergeron moyen			lœss récent inf. des auteurs		Moustiérien	W II	
S_4 b	2e cailloutis		Levalloisien VI rares bifaces	grand lehm		rares bifaces	grande récession	
L_3 a	ergeron inf.			lœss ancien supérieur des auteurs		Levalloisien rare / Industries à éclats plan de frappe non préparé	W I	
S_4 a	1er cailloutis		Levalloisien IV					
H_1-F_3	argile rouge de H. et M. Terrasses, alluvions de B. Terrasse	*Elephas Antiquus*	Acheuléen VII	Argile rouge et lœss anciens moyen et inf. des auteurs	faune à *El. Antiquus*		Interglaciaire Riss-Würm ou *Monastirien*	
L_2	Lœss ancien	faune froide	Acheuléen IV-V	marne solifluée	faune froide	?	*Riss* I	
S_3	Gravats soliflués	*Elephas primigenius*	Levalloisien III	Sables vosgiens				
F_2 c	dépôts fluviatiles	faune chaude	Acheuléen II	Sables rhénans	faune chaude	?	Interglaciaire Mindel-Riss ou *Tyrrhénien*	

Notation de H. Breuil : S = Solifluxion ; F = dépôts fluviatiles ; L = lœss ; H = dépôts d'altération.

Chapitre IX

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Dans les pages qui précèdent, j'ai étudié la Basse et la Moyenne-Terrasse de la plaine d'Alsace, au double point de vue géologique et pédologique. Nous avons vu que la Basse-Terrasse, comme la Moyenne-Terrasse représentent des édifices essentiellement complexes et pour lesquels la simple notion d'altitude au-dessus du thalweg actuel du Rhin ne correspond à rien. Les alluvionnements successifs à la surface des terrasses, qu'il s'agisse d'alluvionnement fluviatile rhénan ou vosgien, d'alluvionnement éolien ou d'alluvionnement colluvial par ruissellement superficiel, se sont accompagnés, en d'autres points, d'érosions qui ont fait disparaître, en totalité ou en partie, les produits des alluvionnements précédents. De plus, les phénomènes d'effondrement de la partie centrale de la plaine alsacienne et de soulèvement de diapirs ou de dômes de sels dans la région salifère, ont profondément modifié l'allure primitive des couches alluviales quaternaires, en particulier en accélérant considérablement, en certains points, les phénomènes d'érosion.

Ces divers phénomènes expliquent, par exemple, la présence très générale des lœss sur la Basse-Terrasse dans la région strasbourgeoise et leur absence presque complète à la surface des graviers de cette même Basse-Terrasse dans la région mulhousienne.

L'étude détaillée des sols des divers niveaux alluvionnaires ou lœssiques permet non seulement de se rendre compte des rapports stratigraphiques relatifs de ces divers niveaux, mais encore nous renseigne sur les conditions climatiques qui ont présidé à leur dépôt ou à leur évolution. Jusqu'ici, le géologue, pour connaître les climats des époques géologiques passées, ne pouvait guère s'appuyer que sur les données paléontologiques, sur les caractères chauds ou froids de faunes ou des flores qu'il rencontrait. Mais les restes de la vie sont parfois peu abondants dans certaines formations ; de plus, à partir du début du Flandrien, seules les tourbes fournissent, par l'analyse pollinique, des renseignements climatiques, la faune, qui est celle des animaux domestiques, ne donne plus aucun renseignement.

Les sols, au contraire, sont de fidèles enregistreurs des variations climatiques, et nous avons la chance, en Alsace, de disposer de matériaux particulièrement abondants, grâce aux apports réguliers de lœss éoliens, d'une part, qui ont fossilisé les sols des périodes glaciaires et interglaciaires, grâce aux mouvements verticaux continus des sols

alluviaux de la basse plaine, d'autre part, qui ont isolé en talus assez régulièrement échelonnés les sols des périodes flandriennes post-glaciaires.

Je me suis efforcé de mettre en relief, dans ce travail, une notion nouvelle : celle du *sol fossile caractéristique*, notion grâce à laquelle j'ai établi une échelle complète des variations climatiques subies par la plaine alsacienne depuis l'Interglaciaire Mindel-Riss jusqu'à l'époque actuelle (voir figure 24).

Ces variations climatiques se présentent sous forme d'une courbe sinusoïde, qui marque la lutte de deux tendances :

1° la *tendance océanique*, ou occidentale ; c'est elle qui fait prédominer les régimes cycloniques qui amènent dans nos régions les pluies, génératrices de décalcification, et dont l'empreinte est restée sous forme de sols de lehms ou de sols bruns plus ou moins lessivés sur les alluvions des terrasses.

2° la *tendance continentale* ou orientale, celle des régimes anticycloniques dominants ; elle marque le déclin des périodes glaciaires et est alors caractérisée par les grands dépôts de lœss. Lorsqu'elle est moins accentuée, elle fait naître seulement des sols noirs à caractères steppiques.

Notons, d'ailleurs, que les sols herbeux de steppes, intermédiaires entre les lœss subdésertiques et les sols éluviaux océaniques, peuvent se présenter dans deux positions opposées. Ils apparaissent, parfois, intercalés entre deux périodes glaciaires plus sèches et plus froides, comme c'est le cas entre le Würm II et le Würm III ; un tel sol de steppe représentera, alors, un *minimum* de l'influence climatique continentale, entre deux glaciations successives.

Au contraire, pendant une période relativement chaude et humide, apparaît parfois une période qui sans aller, du moins en Alsace, jusqu'à des conditions glaciaires, marque, cependant, un véritable *maximum* de l'influence continentale ; nous voyons apparaître alors un sol à aspect steppique encadré entre deux sols à caractères plus océaniques. Ce cas se présente à diverses reprises, durant l'Interglaciaire Riss-Würm, où il correspond aux faibles glaciations du Riss II et du Pré-Würm, et durant le Flandrien où il marque les périodes boréales et subboréales.

On peut donc bien parler de *sols fossiles caractéristiques* des périodes climatiques passées et leur étude, qui relève de la Pédologie, est appelée à prendre une place importante dans la géologie du Quaternaire, à côté de la *Paléontologie* et de la *Préhistoire*. Elle permettra, et elle permet déjà, de préciser plus étroitement les variations climatiques qui ont joué un si grand rôle, non seulement dans les phénomènes purement géologiques d'alluvionnement et d'érosion qui ont particulièrement marqué les temps quaternaires, mais encore dans l'histoire de la vie durant cette période. Il semble, en particulier, que les migrations des races humaines aient été, jusqu'à une époque récente, sous

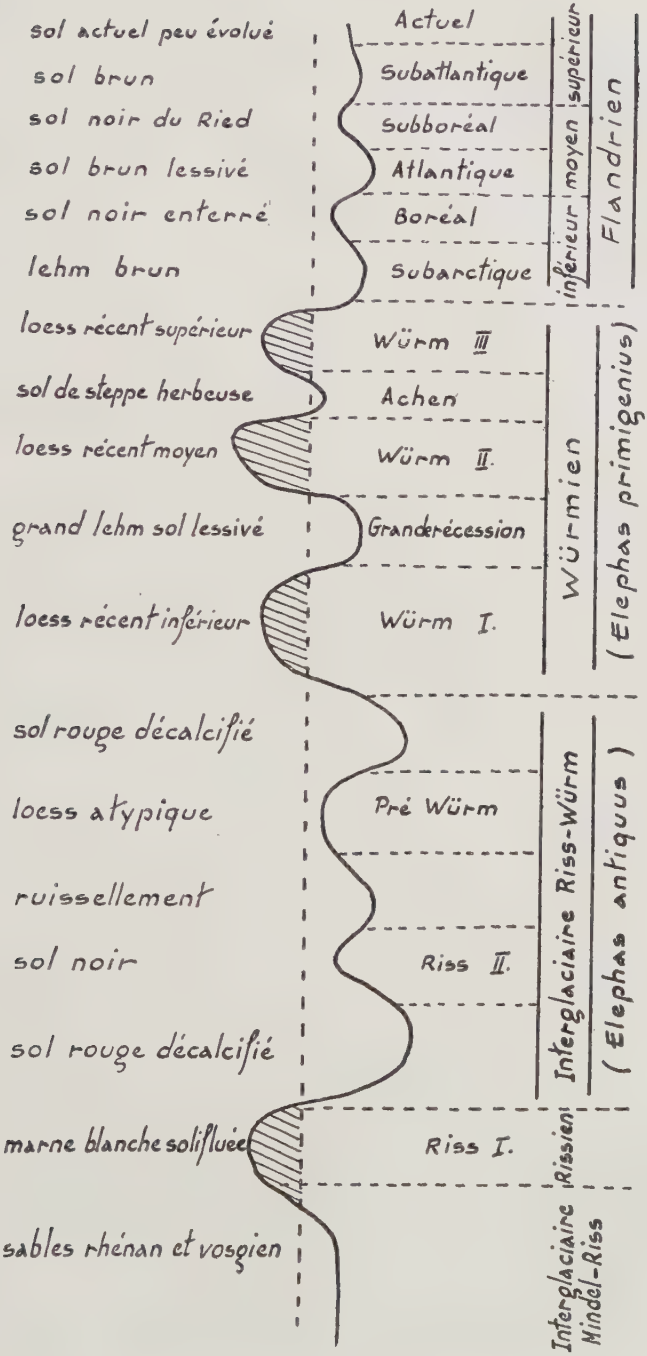


FIG. 24.

Evolution climatique et pédologique des Moyenne et Basse-Terrasses du Quaternaire d'Alsace.
(Les parties hachurées correspondent aux périodes climatiques à caractères glaciaires.)

la dépendance relative des modifications climatiques, à la surface du continent européen-asiatique (1).

L'influence glaciaire et continentale rejetait régulièrement sur l'Europe occidentale les races nordiques et orientales chassées par l'envahissement du désert lœssique.

L'influence océanique ramenait, au contraire, dans nos régions des peuplades plus méridionales qui colonisaient, après les glaciations, les zones plus ou moins désertes abandonnées par leurs précédents habitants.

PÉRIODES GÉOLOGIQUES			Industries et civilisations humaines	
			d'origine boréo-continentale	d'origine océano-méridionale
Flandrien	Supérieur	actuel		
		Sub-atlantique		Gallo-romain
	Moyen	Subboréal	âge du fer âge du bronze	
		Atlantique		Enéolithique
	Inférieur	Boréal	Néolithique	
		Subarctique		Mésolithique
Würmien	Supérieur	Würm III	Magdalénien Solutréen	
		Récession d'Achen		Aurignacien
	Moyen	Würm II	Moustiérien	
		Grande récession		Paléolithique inférieur à éclats non préparés
	Inférieur	Würm I	Levalloisien rare	
Monastirien		Interglaciaire Riss-Würm		

Le tableau ci-dessus n'est qu'un essai très schématique indiquant, sommairement, l'influence climatique qui paraît avoir présidé à la mise en place des diverses civilisations qui se sont succédées sur le sol d'Alsace depuis l'Interglaciaire Riss-Würm, c'est-à-dire depuis le Monastirien.

(1) Voir H. Breuil: « Les industries à éclats du paléolithique ancien, I. le Clactonien. » Extrait de Préhistoire, t. I, fasc. II, p. 130.

Mais, pour en revenir à la pédologie, nous avons vu qu'on ne peut concevoir un sol, sol actuel ou sol fossile, comme une entité uniformément étendue sur toute la surface libre d'un continent. Le sol d'une même *période géologique donnée* est une chose essentiellement variable d'un point à un autre, en raison de toute une série de facteurs qui font naître des faciès locaux très nombreux :

1° Facteurs topographiques	faciès d'érosion et faciès alluviaux
2° Facteurs géographiques climatiques	faciès dus aux variations d'altitude faciès dus aux variations de latitude faciès dus aux climats continentaux ou océaniques
3° Facteurs géologiques	faciès divers sur roche-mère calcaire, siliceuse ou argileuse faciès des sols fossiles plus ou moins modifiés

L'existence des sols fossiles provoque parfois des difficultés d'interprétation, des sols présentant des caractères voisins s'étant formés souvent à des périodes géologiques différentes. Des sols noirs apparaissent pendant l'Interglaciaire Riss-Würm et pendant le Flandrien ; des sols de lehms bruns lessivés caractérisent aussi bien une récession des glaciations würmiennes que la période postglaciaire atlantique.

La *pédologie descriptive* seule, si on l'applique sans tenir compte *des considérations stratigraphiques*, risque, nous l'avons vu, d'amener à des confusions graves ; la paléontologie et l'archéologie préhistorique permettront, dans bien des cas, d'éviter certaines erreurs. La géologie viendra à l'aide du pédologue pour lui expliquer l'origine et l'histoire des sols qu'il étudie ; on peut donc dire qu'aujourd'hui on ne peut pas concevoir une étude pédologique sérieuse, qui ne soit accompagnée d'une étude géologique détaillée ; la géologie est indispensable pour l'étude des roches-mères aux dépens desquelles s'est formé le sol, et pour la connaissance des variations climatiques durant le passé géologique récent pendant lequel s'est faite l'évolution des sols de surface.

Je disais tout à l'heure qu'un géologue ne doit plus, aujourd'hui, ignorer la pédologie, j'ajouterai maintenant qu'il ne peut pas y avoir de pédologue véritable qui ne soit, en même temps, géologue, et versé plus particulièrement dans les difficiles problèmes de la géologie quaternaire qui ont, d'ailleurs, si souvent rebuté bien des géologues.

Et, pour finir, tâchons de répondre à une dernière question.

Les pédologues de l'école russe divisent, nous l'avons vu, les sols mondiaux en zones pédologiques parallèles aux grandes *zones climatiques actuelles*. Or, nous avons vu quelle difficulté il y avait à distinguer, parmi les sols d'une région restreinte, ceux qui reflètent véritablement

le *climat actuel* de cette région, de ceux qui sont les témoins d'un climat passé, plus humide ou plus sec, plus chaud ou plus froid que le climat présent.

Les sols des terrasses horizontales, des plateaux peu soumis aux érosions, en place depuis des millénaires, sont généralement et partout, beaucoup plus évolués que ne le comporterait le climat sous lequel ils se trouvent actuellement. Seuls, les sols d'érosion pas trop ancienne et les sols des alluvions modernes reflèteraient donc le climat actuel, mais ils n'ont, pour la plupart, pas eu le temps nécessaire et suffisant pour subir encore une empreinte climatique complète : ce ne sont, pour la plupart, que des « présols ».

On serait tenté, alors, pour une région comme l'Alsace ou la région parisienne, de faire entrer dans les « sols azonaux » les 9/10 des sols superficiels, les uns comme trop évolués et reflètant des conditions climatiques passées plus actives que les conditions actuelles, les autres comme insuffisamment évolués et en raison de leur formation trop récente (présols d'érosion ou alluvionnaires).

Ici encore, seule la géologie peut donner la clef du problème, en particulier par l'étude des surfaces d'érosion correspondant aux diverses périodes climatiques du Quaternaire et peut-être même du Tertiaire. Cette étude détaillée permettra alors de *comparer dans la mesure du possible ce qui est véritablement comparable*, c'est-à-dire les sols formés sur même roche-mère, de même âge et de même position topographique, c'est-à-dire ceux dont l'histoire est la même, *seul le climat sous lequel ils se sont formés étant différent.*

On verra alors apparaître des différences marquées entre les sols des diverses régions. C'est ainsi que nous avons fait ressortir la décalcification beaucoup plus avancée des ergerons de la région parisienne ou normande, par rapport aux lœss d'Alsace. Les limons des plateaux résultant de cette décalcification, si uniformément répartis dans l'Ouest, correspondent aux lehms éluviaux flandriens d'Alsace, qui, eux, occupent une surface beaucoup plus restreinte et font défaut sur toutes les pentes ou sommets quelque peu soumis à l'érosion.

Lehms d'Alsace et limons des plateaux sont-ils des « sols azonaux » parce que, pour la plupart, d'âge flandrien ancien? Les différences qu'ils présentent, suivant que nous les étudions à Paris et à Strasbourg, différences qui sont d'origine climatique générale, indiquent, au contraire, une zonalité remarquable. L'appréciation de la zonalité climatique ne se conçoit donc en pratique que par *l'état moyen d'évolution des sols d'une région* tenant compte à la fois :

1° *du climat actuel*, reflet plus ou moins atténué des climats anciens, mais ayant gardé, au cours des âges, les mêmes tendances relatives : plus ou moins océaniques ou continentales suivant une *position géographique qui reste à peu près invariable aux cours des âges.*

2° *de la roche-mère*, plus ou moins sensible aux influences climatiques, suivant qu'elle est plus ou moins riche en matériaux tampons, en particulier en calcaire et en argile.

3° *de l'âge géologique des sols* arrivés à un état de maturité plus ou moins avancé, cet âge étant généralement fonction de la position topographique (plateau, terrasses alluviales, bas-fond, pentes), et de l'intensité de l'érosion.

4° *de la végétation*, dont l'influence sur les sols est manifeste, lorsqu'elle est de durée suffisante.

5° *de l'action de l'homme*, qui par le défrichement et le travail agricole, est un des facteurs principaux de destruction des sols.

BIBLIOGRAPHIE

1. Agafonoff V. — Les zones des sols de France (Rev. de Botanique appliquée et d'Agr. Colon. Oct. 1927).
2. Agafonoff V. — Les sols types du globe terrestre et leur répartition en zones. (Bull. Soc. d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, Juillet-Sept. 1928.)
3. Agafonoff V. — Les types des sols de France. (Ann. de la Science Agronomique 1928, p. 97.)
4. Agafonoff V. — La Pédologie (Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique, 11. 3. 1929).
5. Agafonoff V. et Malycheff V. — Le lœss et les autres limons du plateau de Villejuif (Bull. Soc. Géologique de France 1929).
6. Agafonoff V. — Sur la question des sols enterrés d'Alsace (C. R. Ac. des Sciences, 25 Juin 1934).
7. Agafonoff V. — Les sols de France au point de vue pédologique (1re partie). (Annales Agronomiques 1933, p. 587.)
8. Agafonoff V. — Carte pédologique schématique de la France au 1 /2.500.000 1935.
9. Andreae A. — Der Diluvialsand von Hangenbieten im Unter-Elsass, seine geologischen und paleontologischen Verhältnisse und Vergleich seiner Fauna mit der recenten Fauna des Elsasses (Ab. zum Geol. Spezialk. v. E. L. IV 2. 1884).
10. Angot A. — Traité élémentaire de Météorologie. Gauthier-Villard, Ed. 1916.
11. Baulig H. — Questions de morphologie vosgienne et rhénane. 1er article, (Annales de Géographie, t. XXXI, 1922, p. 132-154.)
12. Baulig H. — Sur le climat des époques glaciaires. (Ann. Géogr.. XLIVe Année, No 252, 1935.)
13. Blanck, E. — Handbuch der Bodenlehre (6 vol.), 1929/30.
14. Blœsch. — Die grosse Eiszeit in der Nordschweiz. 1911.
15. Boule M. — Les hommes fossiles, éléments de paléontologie humaine (1923).
16. Breuil H. — De l'importance de la Solifluxion dans l'étude des terrains quaternaires de la France et des pays voisins (Rev. Géogr. physique, 7. 4. 1934).
17. Breuil H. — La Préhistoire (Leçon d'ouverture au Collège de France, 1930).
18. Breuil H. — Le paléolithique ancien en Europe Occidentale et sa chronologie (Bull. Soc. préhist. française 1932, No 12).
19. Breuil H. — Les Industries à éclats du Paléolithique ancien. I. Le Clactonien (Préhistoire t. I, fasc. II).
20. Briquet A. — La terrasse à berge haute du Rhin moyen (Bulletin Service carte géol. Als. et Lorr. 1928, t. I, fasc. 3, p. 263-268).
21. Briquet A. — Le Quaternaire de l'Alsace (Bull. Soc. Géol. Fr., 4e Sér., t. XXX, 1930, p. 477-1014.)
22. Briquet A. — Les alluvions quaternaires de la plaine d'Alsace entre la Fecht et la Bruche (Bull. Serv. Carte Géol. Als. et Lorr., t. 1, fasc. 2, 1923, p. 65-76.)
23. Brœck E. Van den — Du rôle de l'infiltration des eaux météoriques dans l'altération des dépôts superficiels (C. R. du Congrès Géologique Intern., Paris 1878).

24. Brœck E. Van den — Mémoire sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels par l'infiltration des eaux météoriques étudiés dans leurs rapports avec la géologie stratigraphique (Bruxelles 1881).

25. Cartes au 1/20.000. — Service géographique de l'Armée : feuilles : Schiltigheim, Strasbourg, Geispolsheim.

26. Cartes géologiques au 1/80.000 : (feuille 48, Paris).

27. » » » » (feuille 65 — Melun).

28. Cayeux L. — Origine éolienne de l'ergeron des environs de Paris (C. R. XIIIe Congrès Géologique International 1922, p. 1931, 1925.)

29. Collomb. — Nouvelles observations sur le terrain quaternaire du Bassin du Rhin. (Bibliothèque universelle de Genève, 4e série XIV, 1850.)

30. Commission météorologique du Département du Haut-Rhin. Rapport : 1re année, 1er janvier au 31 décembre 1931 ; 2e année, 1er janvier au 31 décembre 1932.

31. Commont V. — Note sur le Quaternaire du Nord de la France, de la vallée du Rhin et de la Belgique (Ann. Soc. Géol. du Nord, t. XLI, p. 12, 1912).

32. Commont V. — La chronologie et la stratigraphie des dépôts quaternaires de la vallée de la Somme (Ann. Soc. Géol. de Belgique, Liége, t. 39, 1911-12).

33. Daubrée A. — Observations sur les alluvions anciennes et modernes d'une partie du Bassin du Rhin (Mém. de la Soc. d'Hist. Nat. de Strasbourg. IV, 1850).

34. Delbos et Kœchlin-Schlumberger. — Description géologique et minéralogique du département du Haut-Rhin, II, 1867.

35. Demolon A. — Recherches physico-chimiques sur la terre à brique considérée comme milieu naturel. Thèse, Paris 1926.

36. Demolon A. — La Dynamique du sol. Paris 1932.

37. Demolon A. et Leroux D. — Guide pour l'étude expérimentale du sol. Gauthier-Villard Ed. 1933.

38. Deutsche Meteorische Jahrbücher für Elsass-Lothringen.

39. Döderlein L. — Die diluviale Thierwelt von Vökslinshofen (mit der Philom. Ges. in E. L. V3, p. 86, 1897).

40. Dubois G. — Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France (Mémoires Société Géologique du Nord, VIII, 1). 1924.

41. Dubois G. — Remarques sur la faune de Vœgtlingshofen (Haut-Rhin) (C. R. Soc. Géologique de France 1929, No 12, p. 176.)

42. Dubois G. et Hatt J. P. — La tourbière du Champ du Feu (Bull. Soc. Géol. de France, 4e série, t. XXX, p. 1027 à 1041, 1930).

43. Dubois G. et Hatt J. P. — Tourbières et modifications forestières post-glaciaires des Vosges moyennes (C. R. Ac. des Sciences, t. 191, p. 674, 1930).

44. Dubois G. — Les principaux types de limon en France septentrionale (Revue Scientifique, juillet 1931).

45. Dubois G. — Les caractères de l'époque actuelle (Discours d'usage, Université de Strasbourg, 1931).

46. Dubois G. — Contribution à l'étude géologique du Lac Noir (Bull. Assoc. Philomathique Alsace-Lorraine, VII, 6, 1931).

47. Dubois G. — Notes sur les rives et les fonds du Lac Noir (Bull. Service Carte Géol. Als. Lorr., t. 2, fasc. 1, 1933).

48. Dubois G. — Succession stratigraphique des terrains secondaires, tertiaires et quaternaires de la dépression alsacienne de Saverne, mars 1933.

49. Dubois G. — Exposé sommaire de la Géologie de l'Alsace et des Vosges 1934.

50. Dubois G. — Un tableau de l'Europe flandrienne (livre jubiliaire Société Géologique de France 1930).

51. Dubois G. et Firtion F. — Esquisse de l'extension des limons lœssiques en France (Bull. Service Carte Géol. Als. Lorr., t. III, 1936).

52. Dubois G. — Quelques puits et forages en plaine alluviale rhénane au Sud de Strasbourg (Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., t. III, 1936).

53. Dubois G. — Remarques sur la faune de Vœgtlinshofen (C. R. Société Géol. de France, juin 1929).

54. Erhart H. — Sur la nature et la genèse des paléo-sols du lœss ancien d'Alsace. (C. R. Ac. des Sciences 1932, t. 194, p. 554).

55. Erhart H. — Les types de sols dans le paysage du lœss en Alsace. (C. R. Ac. des Sciences 1932, t. 194, p. 1003).

56. Erhart H. — Les sols des terrasses rhénanes au Sud de l'Alsace (C. R. Ac. des Sciences 1932, t. 194, p. 2313).

57. Erhart H. — La valeur boulangère des blés du département du Bas-Rhin. Possibilités de leur amélioration (Archives Institut Pédologique du Bas-Rhin, N° 4, 1934).

58. Erhart H. — Traité de Pédologie 1935.

59. Förster B. — Geologischer Führer für die Umgebung von Mülhausen i. E. (1892).

60. Förster B. — Uebersicht über die Gliederung der Geröll- und Lössablagerung des Sundgaues (Mitt. der Geolog. Landesanst. v. E. L., V. 1892).

61. Förster B. — Erläuterung zu den Blättern Mülhausen-West, Mülhausen-Ost und Homburg der Geol. Spezialkarte von E. L., 1898.

62. Förster B. — Geologische Spezialkarte für Elsass-Lothringen au 1/25.000e
N° 130 Blatt Mülhausen-West 1893.
N° 131 Blatt Mülhausen-Ost 1895
N° 132 Blatt Homburg 1895
N° 134 Blatt Altkirch 1890-1899.

63. Förster B. — Jüngerer Löss auf der Nieder-Terrasse (Mitt. der Geolog. Landesanstalt v. E. L., V. 1899).

64. Franc de Ferrière J. et Natier E. — Etude statistique du pH et de la Potasse assimilable dans quelques sols africains (Ann. Agronomiques Sept.-Oct. 1932).

65. Franc de ferrière J. — Observations sur le pH de quelques sols de l'Afrique du Nord et de l'Afrique Occidentale française (Ann. Agronomiques, Sept.-Oct. 1932).

66. Franc de Ferrière J. et Natier E. — Zones climatiques et zones de pH des sols (Ann. Agronomiques, Mars-Avril 1932).

67. Franc de Ferrière J. — Terres et cultures des Canaries (Rev. Botanique appliquée et Agriculture Tropicale, N° 155, 1934).

68. Franc de Ferrière J. — Sur l'histoire des sols des terrasses inférieures du Rhin en Haute-Alsace (C. R. Ac. des Sciences, t. 200, p. 842, 1935).

69. Franc de Ferrière J. — Sur l'histoire des sols des terrasses rhénanes à couverture de lœss en Haute-Alsace (C. R. Ac. des Sciences, t. 200, p. 1227, 1935).

70. Franc de Ferrière J. — La Pédologie et l'Alsace (Bull. Soc. Industrielle de Mulhouse, Oct. 1935).

71. Franc de Ferrière J. — Evolution pédologique des sols de boulbènes du département du Gers (Bull. Assoc. française pour l'étude du sol , juillet 1935).

72. Gaussen H. — Géographie des plantes (A. Colin Ed. 1933).

73. Geologische Karte der Umgebung von Strasbourg 1/25.000, 1883.

74. Geologische Karte, Blatt Geispolsheim N° 92. 1896.

75. Gignoux M. — Traité de Géologie Stratigraphique. 2e édition, 1936.

76. Gignoux M. et Forrer R. — Sur la découverte de *l'Elephas Antiquus* en Alsace (C. R. Soc. Géol. de France 1922, p. 135).

77. Glinka. — Die Typen der Bodenbildung, Berlin 1914.

78. Gœhner, Amiet et Forrer. — Les palafittes préhistoriques à radeaux flottants et fixes de la Schiltigheimermatt à Strasbourg (Cahiers d'Archéologie et d'Histoire d'Alsace, N° 101-104, 1935-36).

79. Grahmann R. — Der Löss in Europa. M. H. Ges. Erdkunde, Leipzig, 1932.

80. Gutzwiller. — Die Diluvialbildungen der Umgebung von Basel (Naturf. Gesellsch. in Basel, Bd. X, 1894).

81. Gutzwiller. — Zur Altersfrage des Löss (Naturf. Gesellschaft in Basel, Bd. XIII, 1901).

82. Gutzwiller. — Gliederung der Diluvialen Schotter in der Umgebung von Basel (Naturf. Gesellschaft in Basel, Bd. XXIII, 1912).

83. Harrassowitz. — Fossile Verwitterungsdecken (Handbuch der Bodenlehre, Bd. IV, 1930).

84. Haug E. — Traité de Géologie, (1907-1911.)

85. Hug. — Die Zweiteilung der Niederterrasse im Rheintal zwischen Schaffhausen und Basel (Zeitschr. f. Gletscherkunde, III, 1909).

86. Issler E. — Les bois d'aune et de charme en Alsace (Bull. Soc. Dendrologique de France, 1934).

87. Issler E .— Les associations silvatiques haut-rhinoises (Bull. Soc. botanique de France, 1931).

88. Issler E. — Les prairies non fumées du Ried ello-rhénan (Colmar 1932).

89. Issler E. — Les bois taillis de chênes du versant oriental des Vosges et des terrasses diluviales de la plaine haut-rhinoise (Bull. Assoc. philomatique Als.-Lorraine, 1934).

90. Jung J. et Schlumberger C. et M. — Déformation de la surface de la Basse-Terrasse du Rhin (Bull. Serv. Carte Géol. Alsace-Lorraine, 1936).

91. Krische P. — Bodenkarten und andere Kartographische Darstellungen der Faktoren der landwirtschaftlichen Produktion verschiedener Länder, Berlin 1928.

92. Kraus Fr. X. — Kunst und Altertum im Ober-Elsass (1884).

93. Ladrière J. — Etude stratigraphique du terrain quaternaire du Nord de la France (Ann. Soc. Géol. du Nord, t. XVIII, 1890).

94. Laville A. — Etude des limons quaternaires de Villejuif. (La Feuille des jeunes naturalistes, p. 1-6, 1904).

95. Malycheff V. — Le lœss (2 articles, Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique, Vol. II, 2, 1929 et Vol. III, 4, 1930).

96. Martonne E. de — Traité de Géographie physique, 3 vol. (1925-1927).

97. Martonne E. de — Une nouvelle fonction climatique : l'indice d'aridité (la Météorologie, oct. 1926).

98. Martonne E. de — Aréisme et indice d'aridité. (Comptes Rendus Acad. des Sciences, 180, 1925.)

99. Merian P. — Die Diluvialbindungen der Gegend von Basel (Naturf. Gesellschaft in Basel, III, 1838).

100. Merian P. — Darstellung der Geolog. Verhältnisse des Rheintales bei Basel (Eröffnungsrede bei der 41. Jahresversammlung der Allg. Schweiz. Gesellschaft f. d. gesamten Naturwissenschaften, 1856).

101. Muston Dr. — La terre du froid (Mémoires Société Belfortaine d'émulation, 1888).

102. Muston Dr. — Le préhistorique dans le pays de Montbéliard et les contrées circonvoisines, (Montbéliard 1887).

103. Nordmann V. — Menneskets Invandring til Norden. (Danmarks Geologiske Undersögelse, III, R., N° 27, Köbenhavn 1936).

104. Obermaier H. — Löss- und Lössmenschen in Europa (Forschungen und Fortschritte, N° 6, 1935).

105 Pallmann Dr. — Ueber Bodenbildung und Bodenserien in der Schweiz (Die Ernährung der Pflanze, Bd. XXX, Heft 13/14).

106 Pasquier L. du — Ueber die fluvioglacialen Ablager. der Nordschweiz (Beiträge zur Geol. Karte der Schweiz, 31, 1891).

107. Penk A. et Bruckner E. — Die Alpen in Eiszeitalter.

108. Pioger R. — Les irrigations fertilisantes en Alsace et dans les Vosges.

109. Platz. — Geologie des Rheintales (Verh. des Naturw. Vereins in Karlsruhe, VI, 1873).

110. Rempp G. et Rothé J. P. — Sur les phénomènes actuels de nivation et d'accumulation neigeuse sur les Hautes-Vosges (C. R. Ac. des Sciences, N° 15, 1934, p. 684).

111*a* Rempp G. et Rothé J. P. — Sur certaines formations du sol dans les Hautes-Vosges, sentiers de vaches et réseaux de buttes. (Bull. Serv. Carte Géol. Als. et Lorr., t. 2, fasc. 3, p. 215-225, 1935).

112. Risler E. — Géologie agricole (4 vol), 1889-1898.

113. Robinson. — Soils Their origin, constitution and classification, London 1932.

114. Rühlmann A. — L'âge du bronze dans le département du Haut-Rhin (Bull. Soc. Industr. de Mulhouse, t. 96, 1930).

115. Scheidig A. — Der Löss und seine geotechnischen Eigenschaften (Ed. Steinkopff, Dresden u. Leipzig, 1934).

116. Schellenberg. — Die Pollenanalyse. (Handbuch der Bodenlehre, Bd. II. 1929).

117. Schlumberger J. Kœchlin — Carte géologique du département du Haut-Rhin au 1/80.000, 1865.
Carte géologique du département du Haut-Rhin au 1/200.000, 1866.

118. Schneegans D. — Notice explicative sommaire de la feuille de Ferrette de la Carte Géologique de la France au 1/50.000e Serv. Carte Geol. Als. et Lor. 1934).

119. Schneegans D. et Théobald N. — Feuille de Ferrette de la Carte Géologique de la France au 1/50.000e. (Services Carte Géol. Als. et Lor. 1934. Feuille XXXVII.-22).

120. Schucht Fr. — Grundzüge der Bodenkunde, Berlin 1930.

121. Schumacher E. — Die Bildung und der Aufbau des oberrheinischen Tieflandes. (Mittheil. Commission Geolog. Landes-Untersuch. Elsass-Lothr., Bd. II, 1890, p. 184-401).

122. Schumacher E. — Uebersicht über die Gliederung des Elsassdiluviums (Br. der Direktion der Geol. Land-Untersuchung v. E. L., 1891).

123. Schumacher E. — Ueber die Gliederung der Pliocänen und Pleistocänen Ablagerung im Elsass (Zeitschr. der deutschen Geol. Gesellsch., 1892).

124. Schumacher E. — Bemerkung über die Fauna des Löss von Achenheim, im besonderen über die Lager von Ziesel und Murmeltier (Mitt. der Geol. Landesanstalt v. E. L., VII, 1911, p. 311-321).

125. Schumacher E. — Achenheim als Geologisch-prähistorische Station (Die Vogesen, N° 10, 1914).

126. Steinmann G. — Ueber die Gliederung des Pleistocän im Badisch. Oberlande (Mitt. der Grossh. Bad. Geol. Landesanstalt, II, XXI, 1893).

127. Stremme H. — Die Braunerden (Handbuch der Bodenlehre, Band III, 1930).

128. Theobald N. — Observations sur la Basse-Terrasse du Rhin en aval de Bâle (Bull. Soc. Industr. Mulhouse, janvier 1933).

129. Theobald N. — Les restes d'éléphants fossiles conservés au Musée d'Histoire Naturelle de Mulhouse (Bull. Soc. Ind. de Mulhouse, 1933, p. 344).

130. Urbain P. — Les sciences géologiques et la notion d'état colloïdal, Paris 1933.

131. Veraenderung (die) des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit. Eine Sammlung von Berichten herausgegeben von dem Exekutiv-Komitee des II. Internationalen Geologenkongresses, Stockholm 1910.

132. Vernadski W. — La Biosphère, 1929.

133. Vernadski W. — La Géochimie, 1923.

134. Vilensky O. G. — Les principaux types de sols du monde. Planche colorée par Podjakonoff et publiée par les soins de l'Institut International d'Agriculture de Rome, 1925.

135. Wagner E. — Regenkarte von Elsass-Lothringen mit Text und Tabellen. Thèse publiée à Strasbourg, Impr. J. Trübner, 1916.

136. Wagner W. — Das Diluvium im Bereich der Fortifikation Strassburg (in E. Kraus et W. Wagner. Die Kriegsschauplätze 1914-1918, geologisch dargestellt, Heft I, Elsass, 1924, p. 140-147).

137. Wasmund E. — Klimaschwankungen in jüngerer Geologischer Zeit (Handbuch der Bodenlehre, II, p. 92).

138. Werner L. G. — Pierre polie de la Haute-Alsace (Assoc. Française pour l'avancement des Sciences, Congrès de Rouen 1921).

139. Werner L. G. — Mulhouse et le Sundgau à l'époque du Mammouth (Société Industrielle de Mulhouse, t. 90, 1924).

140. Werner L. G. — La Station paléo-néolithique de Flachslanden (Rev. anthropologique, avril-juin 1926).

141. Werner L. G. — La faune vertébrée quaternaire du Haut-Rhin (Société Industrielle de Mulhouse, 1927, t. 93).

142. Werner L. G. — Les dépôts et cachettes néolithiques.

143. Werner L. G. — Les divagations du Rhin dans le Haut-Rhin (Bull. Soc. Industrielle de Mulhouse, mars 1934).

144. Werner L. G. — Flachslanden, Station archéologique (Bull. Musée historique de Mulhouse, 1935-36).

145. Wernert P. — La caractérisation faunistique du lœss ancien (Congrès géologique intern. de Madrid, 4. 1926, p. 1975-1987).

146. Wernert P. — De quelques phénomènes géologiques dans les coupes de la Station paléolithique d'Achenheim (Bull. Soc. Préhistorique de France, t. XXXIII, 1936).

147. Wolstedt P. — Das Eiszeitalter, Grundlinien einer Geologie des Diluviums, Stuttgart 1929.

148. Zuber P. R. — Découverte de deux tombes préhistoriques à Kingersheim (Bull. Soc. Industrielle de Mulhouse, t. 96, 1930).

149. Zuber P. R. — Les trouvailles archéologiques faites à Riedisheim (Bull. Musée historique de Mulhouse, 1934).

150. Zuber P. R. — Note sur des trouvailles faites dans un tumulus de la Hardt (Bull. Soc. Industrielle de Mulhouse, t. 102, 1936).

TABLE DES FIGURES

Pages

Fig. 1. — Carte de la Basse-Terrasse aux environs de Strasbourg 29
» 2. — Profil du sol de lehm brun décalcifié et lessivé sur lœss calcaire de la Briqueterie de la Souffel à Souffelweyersheim 31
» 3. — Lehms de comblement d'un vallon fossile des lœss de la briqueterie Ihl à Hœnheim..... 37
» 4. — Sol fossile de lehm enterré sous du lœss de remaniement au fond du vallon actuel de la Briqueterie Ihl à Hœnheim..... 40
» 5. — Coupe de la Briqueterie Alsacienne et de la Briqueterie Lienhardt à Souffelweyersheim..... 44
» 6. — Relations théoriques des Basses-Terrasses de Lingolsheim et de Schiltigheim 65
» 7. — Plan des carrières Hurst et Sundhauser à Achenheim..... 75
» 8. — Carrière Hurst à Achenheim — Paroi Ouest 76
» 9. — Carrière Hurst à Achenheim — Paroi Sud 79
» 10. — Briqueterie Sundhauser à Achenheim 89
» 11. — Variations théoriques du climat d'une période glaciaire (d'après Sœrgel) 103
» 12. — Coupe de la carrière supérieure de Sierentz 119
» 13. — Galet taillé de Sierentz..... 122
» 14. — Coupe de la carrière de Pfastatt 123
» 15. — Galets de quartzite taillés de Pfastatt 124
» 16. — Coupe de la carrière Sud d'Eguisheim 127
» 17. — Carte physique de la plaine du Rhin en Haute-Alsace..... 134
» 18. — Coupe de la carrière inférieure de la Briqueterie de Sierentz.... 140
» 19. — Plan du pipe-line de la Harth 145
» 20. — Sol brun lessivé sur graviers du niveau moyen de la Basse-Terrasse 147
» 21. — Coupe des sols de la dépression à l'Est du Chemin de Blodelsheim sous forêt de la Harth 153
» 22. — Sol sur alluvions modernes 161
» 23. — Profil du sol du champ d'essai de Lieusaint 177
» 24. — Evolution climatique et pédologique quaternaire des Moyenne et Basse-Terrasses en Alsace..... 196

EXPLICATION DES PLANCHES

PLANCHE I.

1° *Briqueterie de la Souffle à Souffelweyersheim.*

Sol brun lessivé de lehm de plateau à la surface du lœss récent de la Basse-Terrasse de Schiltigheim (A_0 sol humifère, A_1 sous-sol éluvial lessivé, B_1 sous-sol illuvial argileux, C roche-mère, lœss calcaire).

2° *Briqueterie Charles Ihl à Hœnheim.*

Lehm colluvial épais dans une dépression des lœss de la Basse-Terrasse de Schiltigheim. Noter vers la droite de la photographie, sous la maison, l'apparition d'un sol d'érosion qui sépare ici le lehm colluvial formé par ruissellement du lehm éluvial du plateau dominant.

3° *Briqueterie Charles Ihl à Hœnheim.*

Ancien sol de lehm noir colluvial enterré entre deux couches de lehm brun, dans un vallon fossile, au flanc de la Basse-Terrasse de Schiltigheim.

PLANCHE II.

4° *Briqueterie Charles Ihl à Hœnheim.*

Ancien sol de lehm brun enterré sous du lœss de remaniement moderne, au fond du vallon actuel.

5° a) *Anse de vase de poterie grossière d'âge énéolitique* provenant du sol de lehm brun de la photographie N° 4 à Hœnheim.

b) *Pendeloque de cuivre*, à patine verte, en provenance du même sol.

6° *Débris de vases de poterie néolithique* provenant du sol de lehm noir de la Briqueterie du Canal (Vve Lienhardt) à Souffelweyersheim.

PLANCHE III.

7° *Glaisière de Reichstett* (entre le Fort Ney et l'ouvrage Ney-Rapp). Sol de lehm noir (b) enterré sous des alluvions calcaires (a).

8° *Briqueterie de la Maison-Rouge à Eckbolsheim.*

Sol de lehm décalcifié (b), à la surface du lœss calcaire (c), et enterré sous du lœss de remaniement moderne (a).

9° *La Schwemme de Niederhausbergen.*

Mare artificielle recevant les eaux de la dépression fermée à l'Est du village.

PLANCHE IV.

10° *Sablière Jean Schott à Lingolsheim.*

Lœss soliflué (c) entre deux couches de cailloutis fluviatiles vosgiens (b et d) ; le tout surmonté d'une couche de lœss (a).

11° *Gravière du passage souterrain de la route de Lingolsheim à Holtzheim.* Belle solifluxion mêlant le lœss et les graviers vosgiens, recouverts, en transgression discordante, par du lœss remanié.

PLANCHE V.

12° *Gravière du fort d'Holtzheim.*

Sol de lehm décalcifié (b) à la surface du lœss calcaire (c) et enterré sous du lœss de remaniement moderne (a).

13° *Briqueterie Hurst à Achenheim*, front latéral Ouest (partie basse) (comparer fig. 8 — p. 76).

14° *Briqueterie Hurst à Achenheim*, front principal Sud (comparer fig. 9 — p. 79.)

PLANCHE VI.

15° et 16° *Poupées de la Briqueterie Sundhauser à Achenheim.*

a) poupées fourchues et irrégulières provenant du lœss ancien moyen de Schumacher au-dessous de la couche de lehm rouge ;

b) poupées rondes de la masse du lœss ancien moyen de Schumacher ;

c) petites poupées situées au-dessous du lehm noir de surface du lœss ancien inférieur de Schumacher ;

d) très grandes poupées des sables fluviatiles rhénans de base.

PLANCHE VII.

17° *Briqueterie Sundhauser à Achenheim.*

Sol de lehm noir (b) à la surface du lœss ancien inférieur de Schumacher (c) et enterré sous le lœss ancien moyen (a), au fond de la carrière inférieure de la Briqueterie

18° *Briqueterie Sundhauser à Achenheim.*

a) lœss supérieurs ;

b) sol de lehm rouge décalcifié ;

c) marne calcaire ;

d) sables rouges vosgiens fortement soliflués ;

e) sables calcaires rhénans de base.

PLANCHE VIII.

19° *Briqueterie Sundhauser à Achenheim.*

Détail de la photographie 18 (même légende).

20° *Briqueterie de Sierentz.*

Grand lehm (b) recouvert par les lœss récents (a).

PLANCHE IX.

21° *Carrière de lœss de Pfastatt.*

a) lœss calcaire supérieur ;

b) lehm supérieur ;

c) lœss calcaire moyen ;

d) lehm moyen ;

e) lœss calcaire inférieur, avec grandes poupées bien visibles au contact du lehm.

Le lehm inférieur affleure au pied du talus à l'extrême droite de la photographie.

22° *Galets taillés et utilisés* des lœss de Pfastatt.

23° *Galets taillés* de Pfatstatt (b^1) et de Sierentz (d), montrant la similitude des deux outils.

PLANCHE X.

24° *Gravière de l'Ile Napoléon* (à côté de la Station électrique).

Sol fossile décalcifié et rubéfié (b) à la surface de graviers rhénans anciens, enterré sous des graviers gris calcaires rhénans, plus récents (a) (profondeur 7 m. au-dessous du sol actuel).

25° *Gravière de Kingersheim.*

Sol de lehm brun lessivé éluvial à la surface d'un lœss calcaire, s'étendant sur les graviers vosgiens.

A_0 : sol humifère,

A : sous-sol de lehm éluvial,

B : sous-sol iluvial argileux et rubéfié,

C : roche-mère de lœss calcaire,

D : graviers vosgiens.

PLANCHE XI.

26° *Tranchée du pipe-line de la Harth*, sous forêt au voisinage du chemin de Blodelsheim.

Sol brun lessivé sur cailloutis rhénans.

A_0 : sol humifère gris brun,

A : sous-sol éluvial jaunâtre clair,

B_1 : sous-sol illuvial argileux et rubéfié,

B_2 : sous-sol illuvial pour le calcaire (poudingue),

C : roche-mère : graviers boulants.

27° *a*) Galet calcaire en voie de digestion superficielle dans un sol de gravier peu évolué de la Harth.

b) galet d'un sol brun lessivé à la limite des horizons éluvial de lessivage calcaire (A et B) et illuvial de concrétion calcaire (B_2).

PLANCHE XII.

28° *Tranchée du pipe-line* de la Harth (sous forêt).

Vallonnement fossile creusé dans la masse des graviers rhénans (c) et entièrement comblé par du sable calcaire (b) et des limons argileux rouges (a).

29° *Tranchée du pipe-line de la Harth* (sous forêt).

Vallonnement creusé dans la masse des graviers rhénans, encore visible topographiquement, mais partiellement comblé par les sables calcaires et les limons décalcifiés.

PLANCHE XIII.

30° *Tranchée du pipe-line de la Harth* (sous forêt) détail de la coupe du vallonnement de la photo 29 montrant les graviers de base (d) le sable calcaire (c) surmonté par un sol noir fossile (b) enterré lui-même sous des limons décalcifiés rougeâtres (a).

31° *Tranchée du pipe-line de la Harth* (sous forêt) Sol d'érosion calcaire sur sables fluviatiles :

a) sol calcaire humifère, superficiel,

b) roche-mère, sable calcaire,

c) graviers rhénans de base.

PLANCHE XIV.

32° *Tranchée du pipe-line de la Harth* (sous forêt).

Rive d'un autre vallonnement creusé dans les graviers et partiellement comblé par le sable calcaire, un sol noir et des limons décalcifiés.

33° *Tranchée du pipe-line de la Harth* (hors de la forêt, rive Est du canal d'irrigation). C'est, en allant vers l'Est, la dernière dépression dans les graviers, comblée par les sables calcaires, avec sol noir enterré sous des limons bruns rougeâtres décalcifiés caractéristiques du niveau A de la Basse-Terrasse.

PLANCHE XV.

34° *Tranchée du pipe-line de la Harth* (entre la forêt et la route nationale de Neuf-Brisach à Bâle). Vue générale du niveau B de la Basse-Terrasse, constitué par des sols noirs (pseudotchernozioms) sur sables fluviatiles séparant des pointements de graviers.

35° *Tranchée du pipe-line de la Harth* dans la plaine d'alluvions modernes. Sol non différencié sur limon sableux calcaire, reposant lui-même sur des graviers rhénans grossiers visibles ici au fond de la tranchée.

PLANCHE XVI.

36° *Hache polie néolithique* trouvée dans la terre à brique du champ d'essais de Lieusaint (S. et Marne).

37° *Carrière Bouchon à Ivry* (Seine).

a) terre à brique ;

b) ergeron ;

c) cailloutis (1er, 2^{e}, 3^{e}) avec lits intercallés de limon sableux calcaire ;

d) limon fendillé rougeâtre ;

e) limon doux à points noirs ;

f) limon sableux inférieur ;

g) cailloutis inférieurs et graviers de la Seine.

TABLE DES MATIÈRES

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA GÉOLOGIE ET DE LA PÉDOLOGIE DES FORMATIONS QUATERNAIRES DE LA PLAINE D'ALSACE.

		Pages
Avant-propos		7
Introduction		11
Chapitre I.	— Notions pédologiques	12
» II.	— Le climat actuel de l'Alsace	21
» III.	— La Basse-Terrasse de Schiltigheim	27
» IV.	— La Basse-Terrasse de Lingolsheim	44
» V.	— La Moyenne-Terrasse d'Achenheim	54
» VI.	— La Moyenne-Terrasse dans la région de Mulhouse	81
» VII.	— La Basse-Terrasse dans la région de Mulhouse	97
» VIII.	— Comparaison avec les limons de la région parisienne	125
» IX.	— Conclusions générales	139
Bibliographie		146
Table des figures		152
Explication des planches		153
Table des matières		157

SECONDE THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

1° La végétation de l'Alsace dans le cadre climatique.

2° Le potassium dans l'organisme animal.

VU ET APPROUVÉ :

Strasbourg, le 22 janvier 1937.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

A. DANJON.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

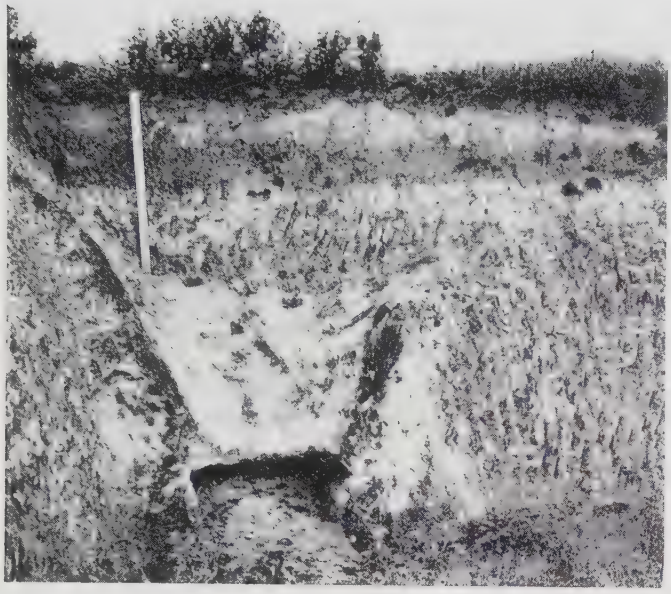
Strasbourg, le 22 janvier 1937.

Le Recteur de l'Académie,

Président du Conseil de l'Université,

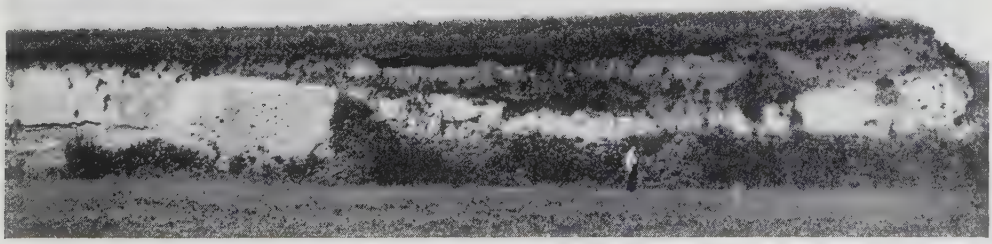
J. DRESCH.

Planche I



1

2

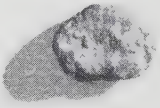


3

Planche II

4

5 *a*



5 *b*

6

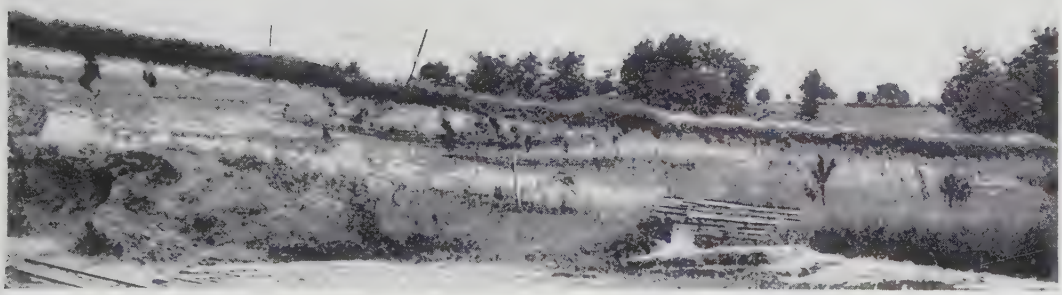
T

S

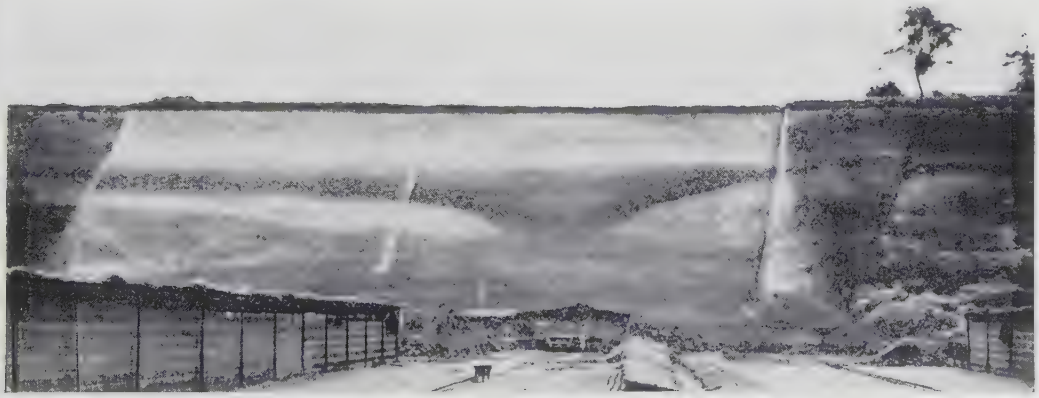
10

11

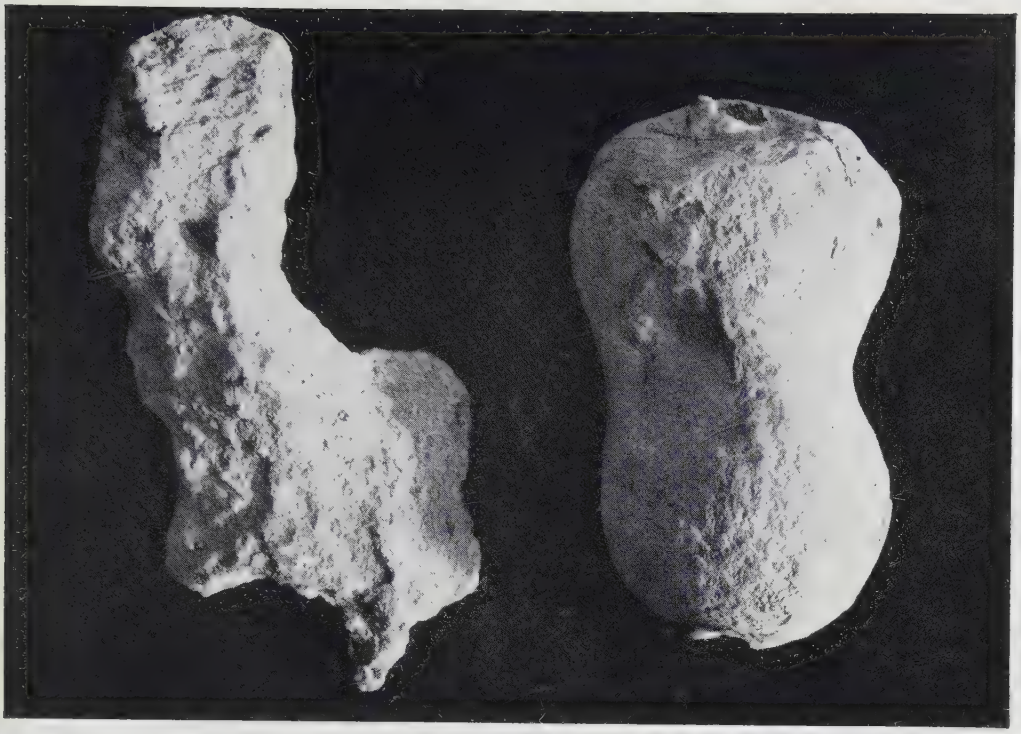
12



13



14



a 15 *b*

16

18

a

b

c

17

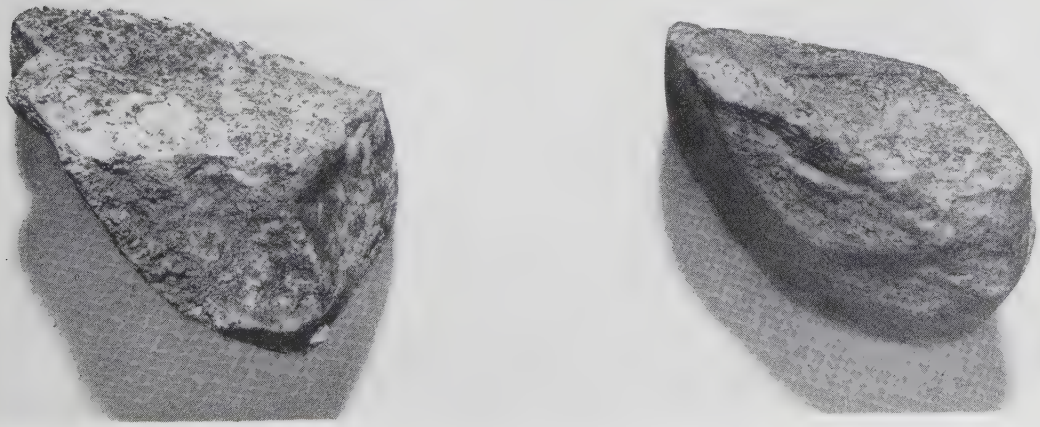
19

20

21

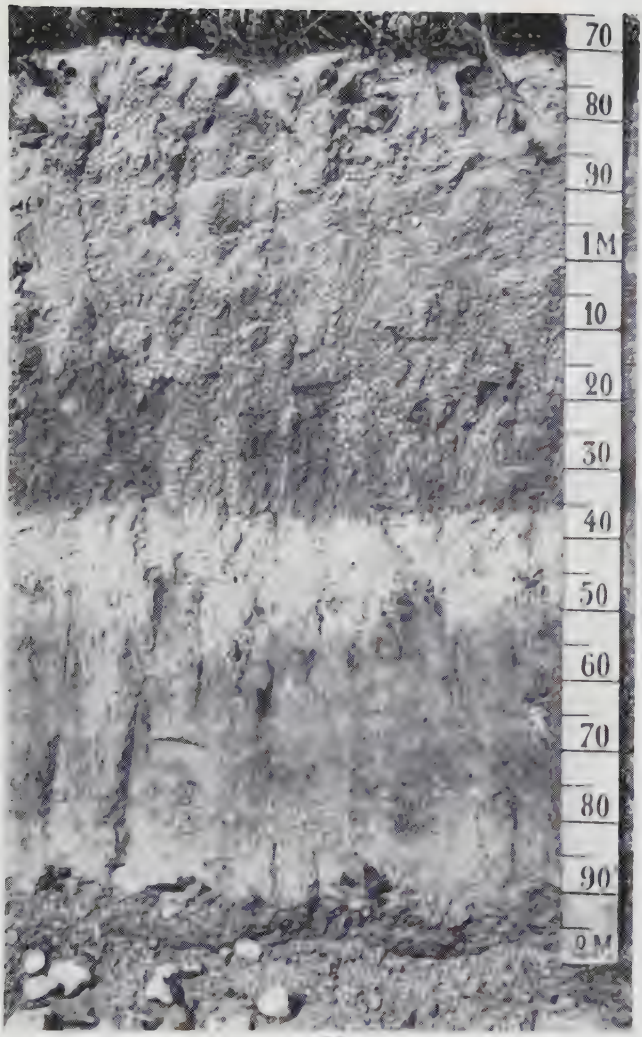
a *b* *c*

22



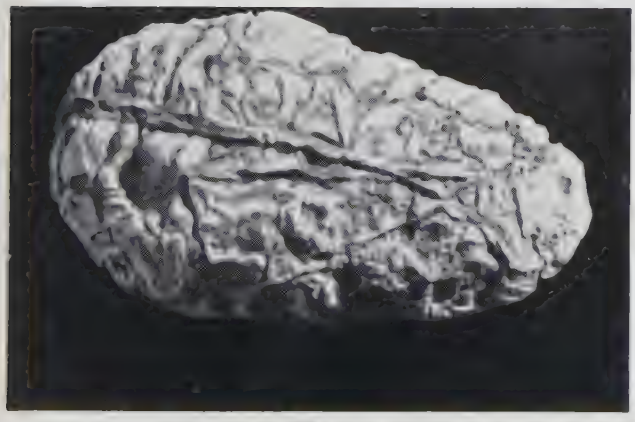
b *a*

23

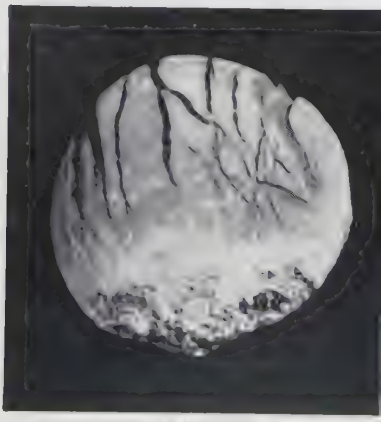


25

24



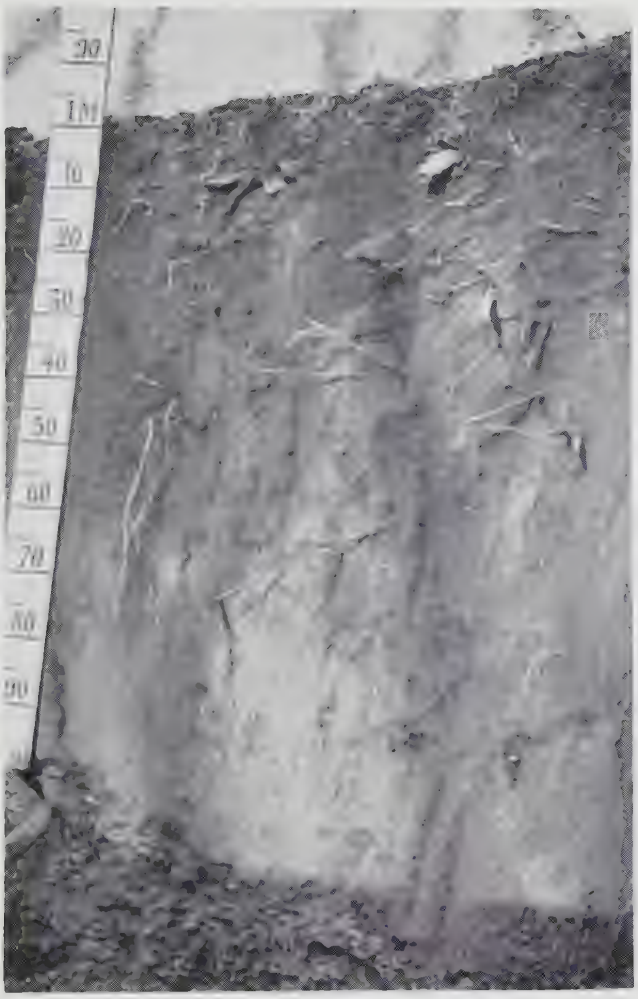
27 a



27 b

28

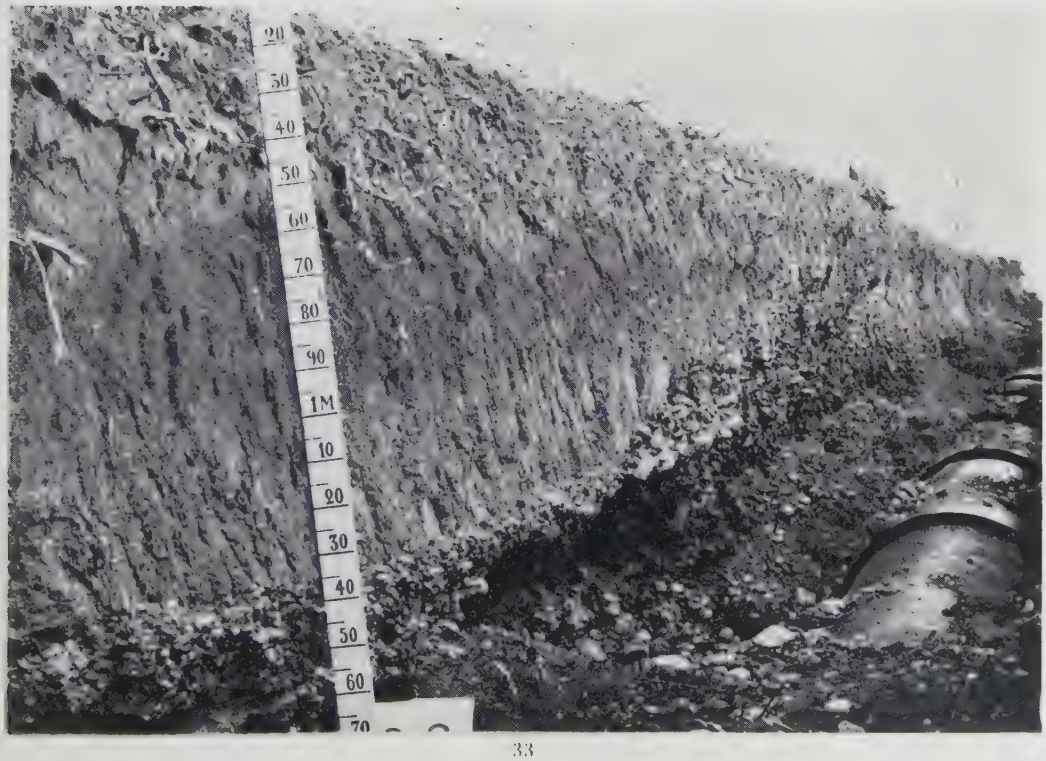
29



31

b c 30 d

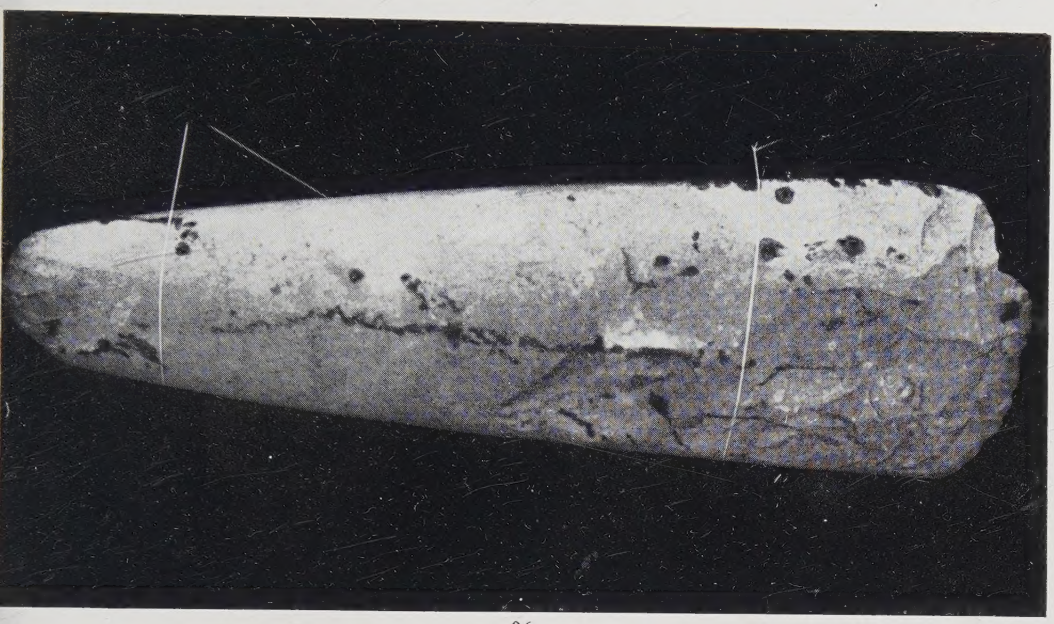
32



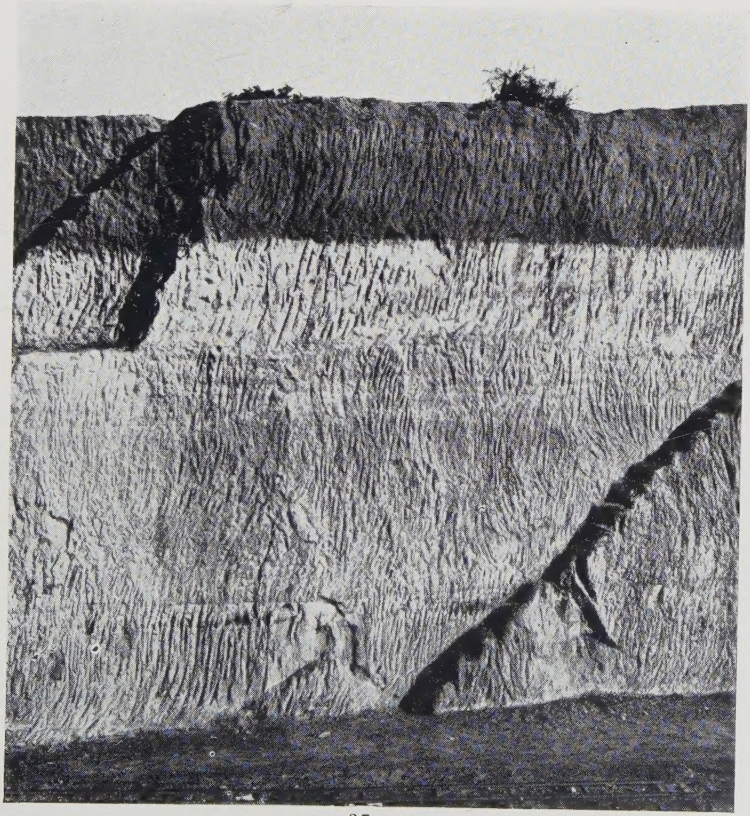
33

34

35



36



37